البدايات

نيل ديجراس تايسون
ودونالد جولدسميث

البدايات

البدايات

١٤ مليار عام من تطور الكون

تأليف
نيل ديجراس تايسون ودونالد جولدسميث

ترجمة
محمد فتحي خضر



البدايات

نيل ديجراس تايسون
ودونالد جولدسميث

Origins

Neil deGrasse Tyson
and Donald Goldsmith

الطبعة الأولى ٢٠١٤م
رقم إيداع ٢٠١٢/٢٢٨٤٤
جميع الحقوق محفوظة للناشر كلمات للترجمة والنشر
(شركة ذات مسئولية محدودة)

كلمات للترجمة والنشر
إن كلمات للترجمة والنشر غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره
وإنما يعبِّر الكتاب عن آراء مؤلفه
ص.ب. ٥٠، مدينة نصر ١١٧٦٨، القاهرة
جمهورية مصر العربية
تليفون: ٢٢٧٠٦٣٥٢ ٢٠٢ + **فاكس:** ٣٥٣٦٥٨٥٣ ٢٠٢ +
البريد الإلكتروني: kalimat@kalimat.org
الموقع الإلكتروني: http://www.kalimat.org

تايسون، نيل ديجراس.
البدايات: ١٤ مليار عام من تطور الكون/تأليف نيل ديجراس تايسون، دونالد جولدسميث . - القاهرة: كلمات للترجمة والنشر، ٢٠١٢.
تدمك: ٩٧٨ ٩٧٧ ٧١٩ ٢١٣ ٢

١- الكون

أ- جولدسميث، دونالد (مؤلف مشارك)
ب- العنوان

٥٢٣,١

الغلاف: تصميم إيهاب سالم.

المحتويات

إلى كل من ينظرون إلى أعلى،

وكل من لا يعرفون بعد،

لمَ عليهم أن يفعلوا ذلك.

شكر وتقدير

إننا ندين بالشكر لروبرت لوبتون من جامعة برينستون لقراءة المخطوطة الأولية للكتاب، ثم إعادة قراءتها، والتأكد من أننا نعني ما نقول ونقول ما نعني. وقد مكنت خبرته في مجالي الفيزياء الفلكية واللغة الإنجليزية هذا الكتاب من الوصول إلى مستويات أعلى بكثير مما تخيلنا. كما ندين بالعرفان لشين كارول من معهد فيرمي بشيكاغو، وتوبياس أوين من جامعة هاواي، وستيفن سوتر من المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي، ولاري سكواير من جامعة كاليفورنيا بسان دييجو، ومايكل شتراوس من جامعة برينستون، ومنتج برنامج نوفا على شبكة بي بي إس، توم ليفنسون؛ لاقتراحاتهم الجوهرية التي حسَّنت أجزاءً عديدة من هذا الكتاب.

نشكر أيضًا بيتسي ليرنر من وكالة جيرنرت؛ لثقتها في هذا المشروع منذ البداية؛ إذ نظرت للمخطوطة الأولية ليس ككتاب وحسب، بل كتعبير عن اهتمام عميق بالكون يستحق العرض على أكبر عدد من الجمهور الذي يشاركنا الاهتمام ذاته.

نشرت أجزاء كبيرة من الجزء الثاني وأجزاء متفرقة من الجزءين الأول والثالث للمرة الأولى كمقالات في مجلة «ناتشرال هيستوري» بقلم نيل ديجراس تايسون. ولهذا يعبر تايسون عن امتنانه العميق لبيتر براون — رئيس تحرير المجلة — ويخص بالشكر أفيس لانج — كبيرة المحررين بها — التي تواصل العمل بشكل بطولي لا يعرف الكلل كراعٍ أدبي واسع الاطلاع لكتابات نيل ديجراس تايسون.

أيضًا يعبر المؤلفان عن تقديرهما للدعم الذي تلقياه من مؤسسة سلون أثناء تأليف هذا الكتاب والإعداد له. سنظل دومًا مقدِّرين لدعمهم المتواصل لمشروعات مثل هذا المشروع.

نيل ديجراس تايسون، مدينة نيويورك

دونالد جولدسميث، بيركلي، كاليفورنيا

يونيو ٢٠٠٤

تمهيد

نظرة متأملة في بدايات العلم وعلم البدايات

ظهر للنور مزيج جديد من المعرفة العلمية، وهو مستمر في الازدهار. ففي السنوات الأخيرة لم تأتِنا إجابات الأسئلة المتعلقة ببدايات الكون من مجال الفيزياء الفلكية وحده؛ إذ أدرك الفيزيائيون الفلكيون — من خلال عملهم تحت مظلة مجالات ناشئة تحمل أسماءً مثل الكيمياء الفلكية والأحياء الفلكية وفيزياء الجسيمات الفلكية — أن بمقدورهم أن يستفيدوا استفادة عظيمة من التعمق في هذه العلوم الأخرى. فالاستعانة بفروع عديدة من العلم عند إجابة السؤال «من أين جئنا؟» يمد المتسائلين بنطاق واسع عميق من الرُّؤَى — لم يسبق تخيُّله من قبل — عن كيفية عمل الكون.

في هذا الكتاب نقدم للقارئ هذا المزيج الجديد من المعارف، الذي لا يمكِّننا من تناول موضوع بداية الكون وحسب، بل يمكِّننا من تناول بداية أكبر البُنى التي كونتها المادة؛ بداية النجوم التي تضيء الكون، والكواكب التي توفر الأماكن المرجحة لظهور الحياة، إضافة إلى بداية الحياة نفسها على واحد أو أكثر من هذه الكواكب.

يظل البشر مفتونين بموضوع البدايات لأسباب عديدة، منها المنطقي ومنها العاطفي. فنحن لا نستطيع فهم جوهر أي شيء ما لم نعرف من أين جاء. وكل القصص التي نسمعها، وتسرد لنا أصولنا، تخلف آثارًا عميقة في نفوسنا.

إن نزعة التركيز على الذات المتغلغلة في عظامنا، بفعل تطورنا وخبراتنا على كوكب الأرض، أدت بنا على نحو طبيعي إلى التركيز أساسًا على الأحداث والظواهر القريبة منا

عند إعادة سرد أغلب القصص المتعلقة بأصولنا. ومع ذلك كشف لنا كل تقدم في معرفتنا بالكون عن أننا نعيش على سطح ذرة غبار كونية، تدور حول نجم عادي، في طرف ناءٍ لمجرة من نوع شائع، ضمن مائة مليار مجرة في الكون. وتستثير حقيقة عدم أهميتنا الكونية مجموعة من الحيل الدفاعية المدهشة في النفس البشرية. فكثيرون منا يشبهون — دون وعي منهم — شخصًا في رسم كارتوني ينظر نحو السماء المرصعة بالنجوم ويقول لرفيقه: «كلما نظرت إلى تلك النجوم اندهشت من مقدار عدم أهميتها.»

على مر التاريخ، نبعت من ثقافات مختلفة خرافات عن الخلق تفسر أصولنا كنتيجة لقوى كونية تشكل مصائرنا. وقد ساعدت تلك الحكايات على درء مشاعر عدم الأهمية لدى البشر. ومع أن كل قصص البدايات تبدأ في المعتاد بالصورة الكبرى، فإنها سريعًا ما تتجه صوب كوكب الأرض في سرعة مدهشة، وتمر مرورًا سريعًا بنشأة الكون، ومحتوياته جميعها، ونشأة الحياة على الأرض، حتى تصل إلى تفسيرات مطولة لتفاصيل عديدة عن التاريخ الإنساني وصراعاته الاجتماعية، كما لو أننا — على نحو ما — مركز الكون بأسره.

تقوم جميع الأجوبة المتنوعة الهادفة إلى معرفة البدايات على فرضية أساسية مفادها أن الكون يسير وفق قواعد عامة تكشف عن نفسها، على الأقل من حيث المبدأ، أمام فحصنا المتأني للعالم من حولنا. رفع فلاسفة الإغريق شأن هذه الفرضية إلى قمم سامقات، مؤكدين على أننا — نحن البشر — نمتلك القدرة على إدراك كيفية عمل الطبيعة، إلى جانب الحقيقة الكامنة وراء ما نرصده: أي الحقائق الجوهرية التي تحكم كل شيء آخر. ومن المفهوم أنهم أكدوا على أن الكشف عن تلك الحقائق سيكون أمرًا عسيرًا. فمنذ ثلاثة وعشرين قرنًا، شبه الفيلسوف الإغريقي أفلاطون — في أشهر تأملاته في جهلنا — من يلهثون وراء المعرفة بسجناء مقيدين بالسلاسل داخل أحد الكهوف، ويعجزون عن رؤية الأشياء الموجودة خلفهم، وعليهم أن يحاولوا استنتاج وصف دقيق للحقيقة من الظلال التي تلقيها هذه الأشياء.

بهذا التشبيه لم يلخص أفلاطون محاولات البشر لفهم الكون وحسب، بل أكد أيضًا على أن لدينا ميلًا طبيعيًّا للإيمان بوجود كيانات غامضة محسوسة على نحو باهت تتحكم في الكون، مطلعة على معارف لا يمكننا — في أفضل الأحوال — إلا ملاحظتها جزئيًّا. ومن أفلاطون إلى بوذا، ومن موسى إلى محمد، ومن فكرة القوى الكونية الخفية إلى الأفلام الحديثة كفيلم «ماتركس» (المصفوفة)، خلص البشر من جميع الثقافات إلى وجود قوى عليا تتحكم بالكون، وأنها قادرة على فهم الفارق بين الحقيقة والمظهر الخارجي.

منذ خمسة قرون بدأ منهج جديد لفهم الطبيعة في بسط هيمنته ببطء. وهذا المنهج — الذي نطلق عليه الآن العلم — نشأ من احتشاد التقنيات الجديدة والاكتشافات التي تمخَّضت عنها. وقد مكن انتشار الكتب المطبوعة في أرجاء أوروبا — إلى جانب التحسينات المتزامنة في وسائل السفر عبر البر والبحر — الأفرادَ من التواصل على نحو أسرع وأكفأ، وبهذا أمكن لكل شخص أن يتعرَّف على ما يقوله الآخرون، وأن يستجيب له استجابة أسرع بكثير مما كان يحدث في الماضي. وإبان القرنين السادس عشر والسابع عشر عزَّز هذا من الجدل المتبادل، وأدى إلى ظهور أسلوب جديد في اكتساب المعرفة، قائم على مبدأ مفاده أن السبيل الأكثر فعالية لفهم الكون هو الملاحظة الدقيقة، المقترنة بمحاولات لتحديد مبادئ عامة وأساسية تفسر مجموعة من المشاهدات.

أسهم مبدأ آخر في مولد العلم؛ فالعلم يقوم على التشكيك المنظَّم؛ أي الشك المنهجي المستمر. قليلون منا يتشكَّكُون في استنتاجاتهم، ولهذا يدعم العلم منهجه المتشكك من خلال مكافأة من يتشككون في استنتاجات الغير. قد يحق لنا أن نصف هذا المنهج بأنه غير طبيعي، ليس لأنه يدعو إلى الشك في أفكار شخص آخر، بل لأن العلم يشجع ويكافئ من يستطيعون أن يثبتوا أن استنتاجات غيرهم من العلماء أبعد ما تكون عن الصواب. بالنسبة لعلماء آخرين، فالعالم الذي يصحح خطأ زميل له، أو يذكر أسبابًا وجيهة تدعو بقوة للشك فيما توصل له ذلك الزميل من استنتاجات، يؤدي في الواقع عملًا نبيلًا، تمامًا مثل معلم الزن الذي يعنف الراهب المبتدئ عندما يحيد عن طريق التأمل، بالرغم من أن العلماء يُقوِّم بعضهم بعضًا كأقران ذوي مكانة متساوية، وليس كمعلم وتلميذ. وبمكافأة العالم الذي يكشف عن خطأ زميله — وهي مهمة تجعلها الطبيعة البشرية أسهل بكثير من اكتشاف الفرد خطأه بنفسه — أوجد العلماء معًا نظامًا طبيعيًّا للتصويب الذاتي. فقد أوجد العلماء مجتمعين أكثر وسائلنا كفاءة وفعالية لتحليل الطبيعة؛ وذلك من خلال سعيهم لإثبات خطأ نظريات غيرهم من العلماء، حتى وهم يدعمون أخلص مساعيهم لتقدم المعرفة البشرية. وبهذا يكون العلم مسعى جماعيًّا، لكنه ليس بالمجتمع الذي يشيع الإعجاب المتبادل الزائف بين أفراده، وما كان مقصودًا له أن يشيع.

وشأن كافة مساعي التقدم البشري، يعمل المنهج العلمي على نحو نظري أفضل من التطبيق العملي. فلا يتشكك جميع العلماء في بعضهم البعض بالفعالية المطلوبة. ويمكن للحاجة لإثارة إعجاب العلماء الذين يشغلون مناصب مؤثرة — والذين قد يقعون أحيانًا تحت تأثير عوامل بعينها تغيب عن إدراكهم — أن تعيق قدرة العلم على التقويم الذاتي.

لكن على المدى البعيد لا يمكن للأخطاء أن تستمر؛ لأن علماء آخرين سوف يكتشفونها ويستفيدون من كشف هذه الأخطاء في رفع شأنهم كعلماء. أما الاستنتاجات التي تصمد في وجه هجمات العلماء الآخرين فتتمكن في نهاية المطاف من تحقيق مكانة «القوانين» العلمية، بحيث تُقبل كتوصيفات صحيحة للواقع، حتى وإن كان العلماء يعرفون أن هذه القوانين قد تجد نفسها يومًا ما مجرد جزء من حقيقة أعمق وأكبر.

لكن نادرًا ما يُمضي العلماء كل وقتهم في محاولة بعضهم إثبات خطأ البعض. فأغلب المساعي العلمية تتقدم من خلال اختبار صحة فرضيات غير تامة الإثبات في ضوء نتائج قائمة على ملاحظة محسنة تحسينًا طفيفًا. ومع هذا، فمن حين لآخر يظهر جانب جديد لنظرية مهمة، أو (وهو ما يحدث على نحو أكثر تكرارًا في عصر التقدم التكنولوجي) تمهِّد مجموعة جديدة تمامًا من الملاحظات الطريقَ لمجموعة جديدة من الفرضيات لتفسير تلك النتائج. وقد تجلَّت أعظم لحظة في التاريخ العلمي، وستتجلى دومًا، حين يُحدث تفسير جديد، قد يكون مصحوبًا بملاحظات جديدة، تحولًا جذريًّا في استنتاجاتنا بشأن كيفية عمل الطبيعة. يعتمد التقدم العلمي على مجموعتين من الأفراد: مَن يجمعون بيانات أفضل ويحللونها بحرص للخروج منها بنتائج، ومَن يخاطرون بالكثير — وقد يجنون الكثير لو نجحوا — في محاولة تحدي الاستنتاجات المقبولة بشكل عام.

إن طبيعة العلم المتشكِّكة تجعله منافسًا غير كفء لقلوب البشر وعقولهم، التي تجفل مما يعتري العلم من جدال دائم، وتفضل التماس الأمان فيما يبدو وكأنه مجموعة من الحقائق الخالدة. ولو كان المنهج العلمي مجرد تأويل آخر للكون، لما حقق الكثير؛ فالنجاح الكبير للعلم إنما ينبع من فعاليته. إذا ركبت طائرة مصنعة وفق القواعد العلمية — القائمة على مبادئ نجحت في اجتياز اختبارات عديدة حاولت إثبات خطئها — فستكون فرص وصولك لوجهتك أكبر مما لو ركبت طائرة مصنعة وفق قواعد علم التنجيم الفيدي الهندوسي.

على مر التاريخ الحديث نسبيًّا انقسم البشر في استجاباتهم لنجاح العلم في تفسير الظواهر الطبيعية إلى أربع فرق؛ الأولى تشمل مجموعة صغيرة من البشر اعتنقت المنهج العلمي بوصفه أفضل آمالنا لفهم الطبيعة، ولا تلتمس سبلًا أخرى لفهم الكون. والفرقة الثانية، وهي أكبر عددًا بكثير، اختارت تجاهل العلم، وحكمت عليه بأنه غير مثير للاهتمام، أو مبهم، أو مناقض للروح البشرية. (إن من يشاهدون التليفزيون كثيرًا دون أن يتوقَّفوا لحظة واحدة للتساؤل عن كيفية وصول الصورة والصوت لهم بهذا الشكل يذكِّروننا بأن

كلمتي: سحر magic وآلة machine يتشاركان الجذر اللغوي ذاته في اللغة الإنجليزية.) الفرقة الثالثة، وهي أقلية أخرى، تعي الهجوم الذي يشنه العلم ضد معتقداتها الأثيرة؛ لذا فهي تسعى بنشاط لإثبات خطأ أي نتائج علمية تزعجها أو تغضبها، إلا أنها تفعل هذا خارج إطار العمل المتشكك الذي يتبناه العلم، وهو ما يمكن استيضاحه بسهولة إذا سألت أحدهم: «ما الدليل الذي يمكن أن يقنعك بأنك على خطأ؟» هؤلاء المعادون للعلماء لا يزالون يشعرون بالصدمة التي عبر عنها الشاعر الإنجليزي جون دون في قصيدته «تشريح العالم: الذكرى السنوية الأولى» التي ألفها عام ١٦١١ مع ظهور الثمار الأولى للعلم الحديث، حين قال:

وفلسفة جديدة تشكك في كل شيء،
فالنار أُطفئت وجُردت من مكانتها،
ضاعت الشمس، والأرض، وليس بوسع ذكاء بشر
أن يرشده لمكان البحث عنها،
ويقر البشر بإرادتهم بأن العالم ضاع،
حين في الكواكب والسماء
يبحثون عن عوالم جديدة عديدة، فيرون أن هذا [العالم]
يتفتت مجددًا إلى ذراته
لقد تفتت تمامًا، وضاع كل تماسكه ...

الاستجابة الرابعة التي يتبناها قطاع كبير آخر من العامة تتمثل في قَبول المنهج العلمي في فهم الطبيعة، مع الاحتفاظ بالإيمان بوجود قوى غيبية خارج نطاق فهمنا تتحكم في الكون. رفض باروخ سبينوزا — الفيلسوف الذي أقام أقوى الجسور بين ما هو طبيعي وما هو غيبي — أيَّ تفريق بين الطبيعة والإله، مصرًّا على أن الكون هو الاثنان في الوقت ذاته. أما أتباع الديانات التقليدية، التي تصر على هذا الفصل، فعادة ما يجدون العزاء في الفصل العقلي بين النطاقات التي تعمل فيها الطبيعة والنطاقات التي تعمل فيها القوى الغيبية.

وأيًّا كانت وجهة النظر التي تتبناها، فليس هناك شك في أن هذه أوقات مواتية لمعرفة ما هو جديد في الكون. دعنا إذن نواصل سعينا الجَسور لتقصِّي بداية الكون، كالمفتشين السريين الذين يستنتجون حقائق الجريمة من الأدلة المتخلفة عنها. إننا ندعوك لتنضم

إلينا في بحثنا عن الأدلة الكونية — ووسائل تأويلها — حتى نتمكَّن معًا من إماطة اللثام عن الكيفية التي تحول بها جزءٌ من الكون إلى أنفسنا.

افتتاحية

أعظم قصة حُكيت على الإطلاق

> لقد استمر العالم على حاله سنوات طويلة، بعد أن ضُبطت حركاته ذات مرة ليسير بصورة سليمة. وعقب هذا، جاء كل شيء آخر.
>
> لوكريتوس

منذ حوالي ١٤ مليار سنة، في بداية الزمان، كان الكون المعروف، بكل فضائه وكل مادته وكل طاقته، يشغل مساحة رأس دبوس. كانت حرارة الكون وقتها شديدة للغاية، حتى إن قوى الطبيعة الأساسية، التي تصِف في مجملها الكون، كانت مندمجة في قوة وحيدة موحدة. وحين كان الكون في درجة حرارة متقدة قدرها $١٠^{٣٠}$ درجة، ويبلغ من العمر $١٠^{-٤٣}$ ثانية فقط — ذلك الوقت الذي قبله تفقد كل نظريات المادة والفضاء معانيها — دأبت الثقوب السوداء على التكوُّن تلقائيًّا، ثم الاختفاء، ثم التكوُّن مجددًا من الطاقة التي يحويها مجال القوى الموحد. وفي هذه الظروف المتطرفة، وفق ما نقر بأنه ضرب من الفيزياء الافتراضية، صارت بنية الفضاء والزمان متقوسة بشكل حاد وهي تفور لتأخذ شكلًا إسفنجيًّا رغويًّا. في تلك الفترة استحال التفريق بين الظواهر التي تصفها نظرية النسبية العامة لأينشتاين (نظرية الجاذبية الحديثة) وميكانيكا الكم (وصف المادة عند أصغر نطاقاتها).

مع تمدد الكون وبرودته، انفصلت الجاذبية عن القوى الأخرى. وبعد وقت قصير انفصلت القوة النووية القوية عن القوة الكهروضعيفة، وهو الحدث الذي صاحبه إطلاق مهول للطاقة المخزنة حفز على زيادة حجم الكون بمقدار $١٠^{٥٠}$ ضعفًا. هذا التمدد السريع، المعروف بـ «فترة التضخم»، أدى إلى تمدد المادة والطاقة وصقلهما بحيث صار أي تفاوت في الكثافة بين أحد أجزاء الكون والجزء المجاور له أقل من جزء في المائة ألف.

بالمضي قدمًا، وفق ما يعرف الآن بالفيزياء المثبتة معمليًّا، بات الكون حارًّا بما يكفي كي تحول الفوتونات طاقتها إلى أزواج من جسيمات المادة والمادة المضادة، التي أفنى بعضُها بعضًا فورًا، لتعيد الطاقة مجددًا إلى الفوتونات. ولأسباب غير معروفة «انكسر» هذا التناظر بين المادة والمادة المضادة عند الانفصام السابق للقوى، وهو ما أدى إلى زيادة طفيفة في نسبة المادة العادية إلى المادة المضادة. كان عدم التناظر طفيفًا، لكنه كان حاسمًا للتطور المستقبلي للكون: فمقابل كل مليار جسيم من المادة المضادة تولَّد مليار + ١ جسيم من المادة.

ومع استمرار الكون في البرودة انفصمت القوة الكهروضعيفة إلى كل من القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة، وبهذا اكتملت القوى الأساسية الأربع للطبيعة. ومع استمرار طاقة فيض الفوتونات في الانخفاض لم يعد ممكنًا تخليق أزواج جسيمات المادة والمادة المضادة تلقائيًّا من الفوتونات المتاحة. أفنت بقية أزواج جسيمات المادة والمادة المضادة بعضها بعضًا في سلاسة، مخلِّفة جسيمًا واحدًا من المادة العادية لكل مليار فوتون، ولم يعد للمادة المضادة وجود. ولو لم يحدث عدم التناظر السابق بين المادة والمادة المضادة، لتألَّف الكون المتمدد من الضوء وحسب، ولم يكن ليوجد أي شيء آخر، ولا حتى الفيزيائيون الفلكيون أنفسهم. وفي غضون فترة قوامها ثلاث دقائق تقريبًا تحوَّلت المادة إلى بروتونات ونيوترونات، واتحد العديد منها لتكوين أنوية أبسط الذرات. وفي الوقت ذاته تسببت الإلكترونات حرة الحركة في تشتيت الفوتونات في أرجاء الكون، مخلِّفة حساءً معتمًا من المادة والطاقة.

حين هبطت حرارة الكون لما دون بضعة آلاف درجة كلفينية — أي أعلى حرارة بقليل من فرن متقد — تحركت الإلكترونات الحرة ببطءٍ كافٍ مكَّن الأنوية المتجوِّلة من اقتناصها من الحساء، وبهذا تكوَّنت الذرات الكاملة لكل من الهيدروجين والهيليوم والليثيوم، أخف ثلاثة عناصر. صار الكون الآن (وللمرة الأولى) شفافًا للضوء المرئي، ولا تزال هذه الفوتونات المتجولة بحرِّية مرئية إلى اليوم في شكل إشعاع الخلفية الميكروني

الكوني. استمر الكون، خلال المليار سنة الأولى من عمره، في التمدد والبرودة مع تركز المادة بفعل الجاذبية في تجمعات ضخمة نطلق عليها اسم المجرات. وفي نطاق حجم الكون المرئي لنا وحده تكوَّنت مائة مليار مجرة من هذه المجرات، وكل واحدة منها احتوت على مئات المليارات من النجوم التي تحدث تفاعلات الاندماج النووي الحراري في قلوبها. النجوم الأعلى كتلة من شمسنا بأكثر من عشرة أضعاف تقريبًا يكون الضغط والحرارة في مركزها كافيين لتكوين عشرات العناصر الكيميائية الأثقل من الهيدروجين، بما في ذلك العناصر التي تتألف منها الكواكب والحياة الموجودة عليها. كانت هذه العناصر ستظل غير ذات نفع لو أنها استمرت حبيسة النجوم، لكن النجوم عالية الكثافة تنفجر عند موتها، ناثرة أحشاءها الغنية بالعناصر الكيميائية في أرجاء المجرة.

بعد ٧ أو ٨ مليارات سنة من عملية الإثراء هذه ولد نجم غير مميز (الشمس) في منطقة غير مميزة (ذراع كوكبة الجبار) في مجرة غير مميزة (درب التبانة) في جزء غير مميز من الكون (أطراف عنقود العذراء المجري الفائق). احتوت سحابة الغاز التي تكونت منها الشمس على مخزون من العناصر الثقيلة يكفي لتكوين بضعة كواكب، وآلاف الكويكبات ومليارات المذنَّبات. وإبان تكون هذه المجموعة الشمسية تكثفت المادة وتراكمت على نفسها من سحابة الغاز الأم وهي تدور حول الشمس. وعلى مدار مئات الملايين من الأعوام التالية تسبب الارتطام المتواصل للمذنبات عالية السرعة — والحطام المتخلف عن تكوُّن المجموعة الشمسية — في صهر أسطح الكواكب، وهذا منعها من تكوين الجزيئات المعقدة. ومع النقصان المستمر للمادة القابلة للتراكم في المجموعة الشمسية بدأت أسطح الكواكب في البرودة. تكوَّن الكوكب الذي نسميه بكوكب الأرض في مدار يمكن فيه لغلافه الجوي أن يبقي على المحيطات، في حالة سائلة بالأساس. ولو كان كوكب الأرض أقرب للشمس لتبخرت المحيطات، ولو كان أبعد من ذلك عن الشمس لتجمدت المحيطات، وفي كلتا الحالتين لم يكن تطور الحياة على الصورة التي نعرفها ليصبح ممكنًا.

داخل المحيطات السائلة الغنية بالعناصر الكيميائية، وبواسطة آلية غير معروفة بعد، ظهرت بكتيريا لا هوائية ساهمت دون معرفة منها في تحويل الغلاف الجوي الغني بثاني أكسيد الكربون إلى غلاف جوي به ما يكفي من الأكسجين بما يسمح بتكون الكائنات الهوائية وتطورها وهيمنتها على المحيطات والبر. ثم اتحدت ذرات الأكسجين تلك، التي توجد عادة في أزواج (O_2)، في جزيئات من ثلاث ذرات لتكون الأوزون (O_3)، في الطبقة العليا من الغلاف الجوي، وهو ما وقى سطح كوكبنا من فوتونات الأشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس والمدمرة للجزيئات.

إن التنوع المدهش للحياة على الأرض، وفي كل مكان آخر بالكون (كما يمكن أن نفترض)، يرجع إلى وفرة عنصر الكربون بالكون، إلى جانب الجزيئات التي لا حصر لها (البسيطة والمعقدة) المصنوعة منه؛ إذ تفوق الجزيئات المبنية على عنصر الكربون سائر الجزيئات الأخرى مجتمعة. لكن الحياة هشة. ولا تزال مواجهات كوكب الأرض مع الأجرام الضخمة — المتخلفة عن عملية تكون المجموعة الشمسية، التي كانت فيما مضى أحداثًا شائعة — تسبب دمارًا هائلًا في نظامنا البيئي. فمنذ ٦٥ مليون عام فقط (أي منذ أقل من ٢ بالمائة من تاريخ الأرض)، ضرب كويكب وزنه عشرة تريليونات طن ما يعرف الآن بشبه جزيرة يوكاتان، مفنيًا أكثر من ٧٠ بالمائة من الحياة النباتية والبرية على سطح الكوكب، بما في ذلك الديناصورات؛ تلك الزواحف المهيمنة على الكوكب في تلك الحقبة. منحت هذه الكارثة البيئية الفرصة للثدييات الصغيرة الباقية على قيد الحياة؛ كي تملأ الفراغ المتكون حديثًا. وتطور فرع من هذه الثدييات كبيرة الأمخاخ، نطلق عليه اسم الرئيسيات، إلى رتبة ونوع — الإنسان العاقل — وصل إلى مستوى من الذكاء مكنه من اختراع الطرق والأدوات العلمية، وأن يبتكر علم الفيزياء الفلكية، ومن ثم يستنتج بداية الكون وتطوره.

نعم، للكون بداية. نعم، الكون مستمر في التطور. ونعم، يمكن تتبع كل ذرة في أجسامنا رجوعًا إلى لحظة الانفجار العظيم والأتون النووي الحراري الذي اعتمل في قلوب النجوم عالية الكثافة. نحن لسنا موجودين في الكون وحسب، بل نحن جزء منه. إننا مولودون منه. بل قد يحق لنا القول إن الكون هو الذي مكننا، هنا، في ركننا الصغير هذا، من أن نفهمه. وقد بدأنا في هذا للتو.

الجزء الأول

أصل الكون

الفصل الأول

البداية

في البدء كانت الفيزياءُ. تصف «الفيزياء» سلوك المادة والطاقة والمكان والزمان، وكيفية تفاعلها بعضها مع بعض. وتفاعل هذه الشخصيات في الدراما الكونية الخاصة بنا هو أساس الظواهر البيولوجية والكيميائية جميعها. وعلى هذا يبدأ كل ما هو جوهري ومألوف لنا — نحن الكائنات الأرضية — بقوانين الفيزياء ويعتمد عليها. وحين نطبق هذه القوانين على النطاقات الفلكية فإننا نتعامل مع الفيزياء على مستوى أكبر، وهو ما نطلق عليه الفيزياء الفلكية.

في جميع مناحي البحث العلمي تقريبًا — لا سيما الفيزياء — تقع جبهة الاكتشاف عند أقصى نطاق قدرتنا على قياس الأحداث والمواقف. ففي أكثر نطاقات المادة تطرفًا، كالقرب من أحد الثقوب السوداء، تحني الجاذبية متَّصَل الزمكان المحيط بقوة. وفي أكثر نطاقات الطاقة تطرفًا يغذي الاندماج النووي الحراري نفسه داخل مراكز النجوم البالغة حرارتها ١٥ مليون درجة. وفي كل نطاق متطرف يمكن تخيله نجد الظروف شديدة الحرارة والكثافة التي هيمنت على اللحظات الأولى من عمر الكون. ويتطلب فهم ما حدث في كل من هذه السيناريوهات الاستعانة بقوانين الفيزياء التي اكتُشفت بعد عام ١٩٠٠، إبان ما يسميه الفيزيائيون «العصر الحديث»، وذلك لتمييزه عن العصر الكلاسيكي الذي ضم كل قوانين الفيزياء السابقة.

من الملامح الرئيسية للفيزياء التقليدية أن الأحداث والقوانين والتنبؤات تتسم بالمنطقية عند التفكير فيها، فجميعها اكتُشفت واختُبرت في مختبرات عادية داخل مباني عادية. وإلى اليوم لا تزال قوانين الجاذبية والحركة، وقوانين الكهرباء والمغناطيسية، وطبيعة الطاقة الحرارية وسلوكها تُدَرَّس في صفوف الفيزياء بالمدارس الثانوية. وقد مثَّلت هذه الاكتشافات عن العالم الطبيعي وقود الثورة العلمية، التي غيرت بدورها

الثقافة والمجتمع على نحو لم تتخيله الأجيال السابقة، وتظل هذه الاكتشافات أساس ما يحدث في عالم الخبرات اليومية وأسباب حدوثه.

على النقيض لا يوجد شيء منطقي في الفيزياء الحديثة؛ لأن كل شيء فيها يحدث في نطاقات تتجاوز كثيرًا ما تستطيع حواسنا البشرية الاستجابة له. وهذا أمر طيب. ويسعدنا القول إن حياتنا اليومية خالية تمامًا من صور الفيزياء المتطرفة. ففي صباح أي يوم عادي تستيقظ من الفراش، وتسير في أرجاء المنزل، وتأكل شيئًا، ثم تخرج من باب المنزل. وفي نهاية اليوم تتوقع أسرتك ألا يتغير شكلك عما كنت عليه عند مغادرتك، وأن تعود إليهم بجسد سليم. لكن تخيل أنك وصلت إلى العمل، ودلفت لحجرة اجتماعات مفرطة الحرارة لحضور اجتماع مهم يبدأ في العاشرة صباحًا، وفجأة فقدت كل إلكتروناتك، أو أسوأ من ذلك، تطايرت ذرات جسدك في أرجاء المكان. سيكون هذا أمرًا سيئًا. أو افترض بدلًا من ذلك أنك تجلس في حجرة مكتبك محاولًا القيام ببعض العمل تحت ضوء مصباحك المكتبي الذي تبلغ شدة إضاءته ٧٥ واط، وعلى حين غرة يسلط أحدهم عليك ضوءًا بقوة ٥٠٠ واط، ما يتسبب في أن يثب جسدك على نحو عشوائي من حائط إلى حائط، إلى أن تقفز من النافذة. وماذا لو ذهبت لحضور مباراة في مصارعة السومو بعد العمل، لتجد أن المتباريين ذوي الشكل شبه الكروي يرتطمان أحدهما بالآخر، ويفنيان، ويتحولان فورًا إلى شعاعي ضوء يغادر كل منهما القاعة في اتجاه معاكس للآخر؟ أو افترض أنك في طريقك إلى المنزل، وسلكت طريقًا أقل ازدحامًا، لتجد مبنًى مظلمًا يجذبك نحوه، ساحبًا قدميك أولًا، متسببًا في استطالة جسدك من الرأس إلى أصابع القدم، معتصرًا جسدك اعتصارًا وأنت تمر من إحدى فتحاته، لتختفي بعد ذلك من الوجود.

لو أن مثل هذه المشاهد تحدث في حياتنا اليومية، فسنجد الفيزياء الحديثة أقل غرابة بكثير، وكانت معرفتنا بأسس النسبية وميكانيكا الكم ستنبع من خبراتنا الحياتية بشكل طبيعي، ومن المرجح ألا يسمح لنا أحباؤنا بالذهاب للعمل أبدًا. لكن في الدقائق الأولى من عمر الكون حدثت هذه الأمور طوال الوقت. ولتصور المشهد وفهمه لا مناص أمامنا من إرساء شكل جديد من الحس البديهي، وحدس مختلف عن سلوك المادة، وكيفية تفسير قوانين الفيزياء لذلك السلوك في درجات الحرارة والكثافة والضغط القصوى.

علينا أن ندخل عالم المعادلة ط = ك × س^{٢}.

نشر ألبرت أينشتاين أول نسخة من هذه المعادلة الشهيرة للمرة الأولى في عام ١٩٠٥؛ العام الذي نُشر فيه بحثه المبدع بعنوان «عن الديناميكا الكهربائية للأجسام المتحركة»

في صحيفة «تاريخ الفيزياء»؛ الصحيفة الألمانية البارزة في الفيزياء. كان هذا هو العنوان الأصلي للبحث، لكنه صار معروفًا أكثر باسم نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين، وهي النظرية التي قدمت مفاهيم غيرت إلى الأبد أفكارنا عن المكان والزمان. وقد قدم أينشتاين عام ١٩٠٥ — وكان عمره وقتها ٢٦ عامًا ويعمل موظفًا لبراءات الاختراع في برن بسويسرا — المزيد من التفاصيل، بما في ذلك معادلته الأشهر، التي أوردها في ورقة بحثية أخرى شديدة القصر (لم تتعدَّ الصفحتين والنصف)، والمنشورة في وقت لاحق من العام نفسه، في الصحيفة نفسها، بعنوان «هل يعتمد القصور الذاتي للجسم على محتواه من الطاقة؟» ولنجنبك عناء العثور على المقال الأصلي، وتصميم التجربة، ومن ثم اختبار نظرية أينشتاين، نخبرك أن الإجابة عن السؤال المطروح في عنوان المقال هي «نعم». وكما كتب أينشتاين:

> إذا أطلق الجسم الطاقة ط في صورة إشعاع، فإن كتلته تتناقص بمقدار ط/س^{2} … إن كتلة الجسم مقياس لمحتواه من الطاقة، وإذا تغيرت الطاقة بالقدر ط، تتغير الكتلة بنفس الطريقة.

وبسبب عدم تيقنه من صحة تصريحه هذا فقد اقترح بعد ذلك أنه:

> ليس من المستحيل مع الأجسام ذات محتوى الطاقة المتغير بدرجة كبيرة (مثل أملاح الراديوم) أن يُجرى اختبار النظرية بنجاح. (من كتاب ألبرت أينشتاين «مبدأ النسبية»، ترجمة دابليو بيريت وجي بي جيفري (لندن: ميثوين آند كومباني، ١٩٢٣) ص٦٩–٧١.)

الآن صرنا نملك كل ما نحتاج؛ الوصفة الجبرية لكل موقف نريد فيه تحويل المادة إلى طاقة أو الطاقة إلى مادة. فمعادلة ط = ك × س^{2}، أو الطاقة تساوي الكتلة مضروبة في مربع سرعة الضوء، تمدنا بأداة حسابية فائقة القوة تعزز من قدرتنا على معرفة الكون وفهمه انطلاقًا مما هو عليه الآن، رجوعًا بالزمن إلى الوراء حتى كسر بسيط من الثانية بعد مولد الكون. ومن خلال هذه المعادلة يمكننا معرفة كم الطاقة المشعة الذي يمكن لأي نجم إنتاجه، أو كم الطاقة الذي يمكن أن تحصل عليه لو حولت العملات المعدنية في جيبك إلى أشكال مفيدة من الطاقة.

الفوتون هو الشكل الأكثر شهرة من أشكال الطاقة، وهو موجود في كل مكان حولنا، مع أن العقل دائمًا لا يدركه أو يميزه، وهو جسيم عديم الكتلة غير قابل للتقسيم

من الضوء المرئي، أو من أي شكل آخر من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي. إننا نعيش وسط سيل متواصل من الفوتونات؛ القادمة من الشمس، والقمر، والنجوم، والمنبعثة من موقدك، وثريا منزلك، ومصباح الإضاءة الليلي، خلاف تلك الآتية من مئات المحطات الإذاعية والتليفزيونية، ومن عدد لا حصر له من الهواتف المحمولة والرادارات. لماذا إذن لا نشهد بأعيننا التحول اليومي للطاقة إلى مادة، أو للمادة إلى طاقة؟ إن طاقة الفوتونات العادية أقل بكثير من كتلة أقل الجسيمات دون الذرية الضخمة، وذلك عند تحويلها لطاقة باستخدام المعادلة ط = ك × س^{٢}. ولأن هذه الفوتونات لا تحمل سوى قدر ضئيل من الطاقة لا يمكنها من التحول إلى أي شيء آخر، فهي تعيش حياة بسيطة نسبيًّا وخالية من الأحداث المهمة.

هل تشتاق لبعض النشاط باستخدام المعادلة ط = ك × س^{٢}؟ ابدأ في قضاء الوقت إلى جوار فوتونات أشعة جاما، التي تتمتع ببعض الطاقة الحقيقية، قدر فوتونات الضوء المرئي بـ ٢٠٠ ألف مرة على الأقل. سريعًا ما ستمرض وتموت بالسرطان، لكن قبل أن يحدث هذا سترى أزواجًا من الإلكترونات، يتكون الزوج منها من إلكترون للمادة العادية وآخر للمادة المضادة (وهذا مجرد واحد من ثنائيات الجسيمات والجسيمات المضادة العديدة النشطة في الكون)، وهي تظهر للوجود في المكان الذي وُجدت فيه الفوتونات في وقت من الأوقات. في الوقت نفسه سترى أزواجًا من إلكترونات المادة والمادة المضادة وهي تتصادم، مفنية بعضها بعضًا، مطلقة فوتونات أشعة جاما مجددًا. وإذا زدت طاقة الفوتونات بألفي ضعف، فستكون لديك أشعة جاما بها ما يكفي من الطاقة لتحويل البشر مرهفي الحس إلى عمالقة خضر. تملك أزواج هذه الفوتونات طاقة كافية، تفسرها المعادلة ط = ك × س^{٢} بالكامل، لتخليق جسيمات مثل النيوترونات والبروتونات ونظيراتها من المادة المضادة، وكل واحد منها أكبر في الكتلة بحوالي ألفي مرة من الإلكترون. لا توجد الفوتونات عالية الطاقة في أي مكان كيفما اتفق، بل توجد في العديد من البوتقات الكونية. وفيما يتعلق بأشعة جاما فأي بيئة حرارتها أعلى من بضعة ملايين درجة تعد مناسبة تمامًا.

إن لحزم الطاقة والجسيمات التي تحول نفسها من شكل لآخر أهمية بالغة على مستوى الكون. وفي الوقت الحالي تبلغ درجة حرارة كوننا المتمدد — التي جرى التوصل إليها من خلال فيض الفوتونات الميكرونية المنتشرة في الفضاء — ٢٫٧٣ درجة كلفينية وحسب. (على مقياس كلفن كل درجات الحرارة موجبة، وتملك الجسيمات أقل درجة

حرارة ممكنة وتبلغ صفرًا، في حين تبلغ درجة حرارة الغرفة حوالي ٢٩٥ درجة، أما درجة غليان المياه فهي ٣٧٣ درجة.) ومثل فوتونات الضوء المرئي، فإن الفوتونات الميكرونية باردة للغاية بدرجة تمنعها من تحويل نفسها إلى جسيمات من خلال المعادلة ط = ك × س^{٢}. بعبارة أخرى، لا توجد جسيمات معروفة لها كتلة منخفضة تتيح لها أن تتكون من الطاقة الهزيلة التي تحملها الفوتونات الميكرونية. الأمر عينه ينطبق على الفوتونات المؤلفة لموجات الراديو، والأشعة تحت الحمراء، والضوء المرئي، إلى جانب الأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية. باختصار، تتطلب جميع عمليات تحول الجسيمات من المادة لطاقة والعكس إلى أشعة جاما. بالأمس، كان الكون أصغر وأشد حرارة مما هو عليه اليوم. وأول أمس، كان أصغر من ذلك وأشد حرارة. وإذا عدنا بالزمن إلى الوراء، لنقل ١٣٫٧ مليار عام، فسنجد أنفسنا في الحساء البدائي التالي لوقوع الانفجار العظيم، وقت أن كانت حرارة الكون مرتفعة بما يكفي كي تثير اهتمامنا من منظور الفيزياء الفلكية؛ حين كانت أشعة جاما تملأ الكون بأسره.

يعد فهمنا لسلوك المكان والزمان والمادة والطاقة منذ الانفجار العظيم إلى يومنا هذا أحد أعظم انتصارات الفكر البشري. وإذا أردنا الحصول على تفسير كامل للأحداث التي وقعت في اللحظات المبكرة من عمر الكون، حين كان الكون أصغر وأشد حرارة من أي وقت آخر بعد ذلك، علينا أن نعثر على وسيلة تمكن قوى الطبيعة الأربع المعروفة — الجاذبية والكهرومغناطيسية والقوتين النوويتين القوية والضعيفة — من التحدث بعضها إلى بعض، وأن تتحد وتصير قوة واحدة فائقة. علينا أيضًا أن نجد سبيلًا للتوفيق بين فرعي الفيزياء غير المتوافقين في وقتنا الحالي: ميكانيكا الكم (علم الجسيمات الصغيرة)، والنسبية العامة (علم الأجسام الكبيرة).

عمد الفيزيائيون، مدفوعين بالتزاوج الناجح بين ميكانيكا الكم والكهرومغناطيسية في أواسط القرن العشرين، إلى المزج بين ميكانيكا الكم والنسبية العامة في نظرية واحدة مترابطة للجاذبية الكمية. ومع أن كل هذه الجهود باءت بالفشل إلى وقتنا هذا، فإننا نعرف بالفعل موضع العوائق الرئيسية التي تحول دون هذا الهدف: إبان «زمن بلانك»؛ ونعني بهذا الفترة الكونية الممتدة حتى عمر $١٠^{-٤٣}$ ثانية (أي واحد على عشرة مليون تريليون تريليون تريليون من الثانية) بعد بداية الكون. ولأنه يستحيل أن تنتقل المعلومات بسرعة تفوق سرعة الضوء، البالغة ٣ × $١٠^{٨}$ أمتار في الثانية، يستحيل على

أي مراقب افتراضي موجود في أي مكان في الكون إبان زمن بلانك أن يرى أبعد من مسافة ٣ × ١٠⁻³⁵ مترًا (أي ثلاثمائة جزء من مليار تريليون تريليون من المتر). كان الفيزيائي الألماني ماكس بلانك — الذي سميت باسمه تلك الأزمنة والمسافات الضئيلة إلى حد يستحيل تخيله — هو من قدم فكرة الطاقة الكمية في عام ١٩٠٠، وهو يوصف بأبي ميكانيكا الكم.

لكن لا داعي للقلق، ما دامت الحياة اليومية مستمرة. فالتعارض بين ميكانيكا الكم والجاذبية لا يفرض أيَّ مشكلة أمام الكون في الوقت الحالي. والفيزيائيون الفلكيون يطبقون مبادئ وأدوات النسبية العامة وميكانيكا الكم على فئات مختلفة تمامًا من المشكلات. لكن في البداية، إبان زمن بلانك، كان الكبير صغيرًا؛ لذا من المؤكد وجود نوع من التزاوج السريع بين الاثنين وقتها. لكن بكل أسف لا تزال التعهدات المتبادلة بين الطرفين أثناء الاحتفال تراوغنا، ومن ثم لا توجد أي قوانين (معروفة) للفيزياء تصف بأي قدر من الثقة الطريقة التي تصرف بها الكون خلال شهر العسل القصير هذا، قبل أن يحتم تمدد الكون حدوث الانفصال بين ما هو كبير للغاية وما هو صغير للغاية.

في نهاية زمن بلانك حررت الجاذبية نفسها من القوى الأخرى، التي ظلت حتى حينها القوى الموحدة للطبيعة، محقِّقَة لنفسها هوية مستقلة تصفها نظرياتنا الحديثة بدقة. مع تجاوز الكون عمر ١٠⁻³⁵ ثانية، استمر في التمدد وفقدان الحرارة، وانفصم ما تبقَّى من القوى التي كانت من قبل متَّحِدة إلى شقين: القوة النووية القوية، والقوة الكهروضعيفة. وفي وقت لاحق انقسمت القوة الكهروضعيفة بدورها إلى القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة، وهو ما خلف لنا أربع قوى مألوفة متمايزة؛ حيث تتحكم القوة النووية الضعيفة في التحلل الإشعاعي، والقوة النووية القوية هي المسئولة عن ربط الجسيمات بعضها ببعض داخل نواة الذرة، والقوة الكهرومغناطيسية تربط الذرات معًا داخل الجزيئات، بينما تربط الجاذبية المادة بعضها مع بعض في أحجام كبيرة. حين بلغ عمر الكون واحدًا على التريليون من الثانية، كانت قواه المتحولة، إلى جانب أحداث أخرى حاسمة، قد صبغته بسماته الجوهرية، وكل واحدة منها تستحق كتابًا خاصًّا بها.

مع مرور الوقت ببطء في أعقاب أول واحد على التريليون من الثانية من عمر الكون استمر التفاعل المتبادل بين المادة والطاقة دون توقف. فمنذ وقت يسير أثناء وبعد انفصال القوة النووية القوية عن القوة الكهروضعيفة، احتوى الكون على محيط

هائج من الكواركات واللبتونات ونظيراتها من المادة المضادة، إضافة إلى البوزونات، وهي الجسيمات التي تمكن الجسيمات الأخرى من التفاعل بعضها مع بعض. وعلى حد علمنا اليوم لا يمكن لأي واحدة من عائلات الجسيمات هذه أن تنقسم إلى وحدات أصغر أو أبسط. لكن مع أن هذه العائلات تمثل البنى الجوهرية للمادة، فإن كل واحدة منها تأتي في فصائل متعددة. فالفوتونات، بما فيها فوتونات الضوء المرئي، تنتمي لعائلة البوزونات. أما اللبتونات فمعروفة لدى غير الفيزيائيين بالإلكترونات و(ربما) النيوترينوات، أما الكواركات المألوفة فهي ... حسن، لا توجد كواركات مألوفة؛ لأننا في الحياة العادية نجد الكواركات مرتبطة بعضها مع بعض في جسيمات على غرار البروتونات والنيوترونات. مُنحت كل عائلة من الكواركات اسمًا مجردًا لا يخدم أي هدف لغوي أو فلسفي أو تعليمي سوى تمييزها بعضها عن بعض، وهذه الأسماء هي: «العلوي» و«السفلي»، و«الغريب» و«الساحر»، و«القمي» و«القاعي».

البوزونات، بالمناسبة، مسماة على اسم الفيزيائي الهندي ساتيندراناث بوز. أما كلمة «اللبتون» فمشتقة من كلمة يونانية بمعنى «خفيف» أو «صغير». وكلمة «الكوارك» لها أصول أدبية إبداعية. فقد اشتق الفيزيائي الأمريكي موراي جيلمان — الذي افترض عام ١٩٦٤ وجود الكواركات، وكان يظن وقتها أن عائلة الكواركات تضم ثلاثة أفراد وحسب — اسم هذه الجسيمات من إحدى العبارات المحيرة الشائعة في قصيدة جيمس جويس «صحوة فينيجان» التي كانت تقول: "Three quarks for Muster Mark!". وإحدى المزايا التي يمكن نسبتها للكواركات هي أنها تحمل أسماءً بسيطة، وهو ما يبدو أن الكيميائيين والبيولوجيين والجيولوجيين عاجزون عن فعله عند تسمية الأشياء في مجالاتهم.

للكواركات سمات خاصة؛ فعلى العكس من البروتونات، التي تحمل شحنة كهربية موجبة قدرها +١، والإلكترونات التي تحمل شحنة سالبة قدرها −١، للكواركات شحنات جزئية تأتي في وحدات قدرها ١ / ٣. وباستثناء أكثر الظروف تطرفًا يستحيل عليك أن تمسك بأحد الكواركات منفردًا؛ إذ إنه سيكون دومًا ملتصقًا بكوارك أو اثنين آخرين. في الحقيقة، إن القوة التي تُبقي على كل اثنين (أو أكثر) من الكواركات معًا تزداد في الشدة عند محاولة الفصل بينهما، كما لو أن الكواركات مربوطة بعضها مع بعض بنوع من الرباط المطاطي دون الذري. وإذا فصلت بين الكواركات بقوة كافية ينقطع الرباط المطاطي، ثم تخلِّق الطاقة المختزنة في الرباط الممدود، وفق المعادلة $ط = ك \times س^{٢}$، كواركًا جديدًا في كل طرف، وبهذا نعود من حيث بدأنا.

خلال فترة الكواركات–اللبتونات في أول جزء على التريليون من عمر الكون، تمتع الكون بكثافة كافية جعلت متوسط المسافة الفاصلة بين الكواركات الحرة مساويًا لمقدار المسافة بين الكواركات المرتبطة. وفي ظل هذه الظروف لم يكن ولاء الكواركات المتجاورة تامًّا؛ لذا تنقَّلت الكواركات بحرِّيَّة بعضها بين بعض. أُعلن الاكتشاف التجريبي لهذه الحالة للمادة، والمسماة على نحو مفهوم بـ «حساء الكواركات»، لأول مرة عام ٢٠٠٢ على يد فريق من الفيزيائيين العاملين في مختبرات بروكهافن الوطنية في لونج أيلاند.

إن مزيجًا من الملاحظة والفكر النظري يشير إلى أن حدثًا ما وقع بعد بداية الكون بفترة بسيطة، ربما أثناء إحدى عمليات الانفصال بين أنواع القوى المختلفة مُنِحَ الكون قدرًا ملحوظًا من عدم التناظر، زادت بموجبه جسيمات المادة عن جسيمات المادة المضادة بمقدار جسيم واحد في المليار، وهو الفارق الذي سمح بوجودنا اليوم. لم يكن بالإمكان تقريبًا ملاحظة هذا الفارق الطفيف في تعداد الجسيمات وسط عمليات تكون الكواركات والكواركات المضادة، والإلكترونات والإلكترونات المضادة (المعروفة بالبوزيترونات)، والنيوترينوات والنيوترينوات المضادة، وفنائها وتكونها من جديد. وإبان هذه الفترة سنحت فرص عديدة أمام الجسيم الزائد — تلك الزيادة الطفيفة للمادة على المادة المضادة — كي يجد جسيمات أخرى يفنى معها، وهو ما حدث بالفعل مع جميع الجسيمات الأخرى.

لكن ليس لوقت طويل، فمع استمرار الكون في التمدد والبرودة انخفضت درجة حرارته بسرعة لما دون التريليون درجة كلفينية. مرَّ جزء على المليون من الثانية الآن على بداية الكون، ولم يعد ذلك الكون الفاتر يملك الحرارة أو الكثافة الكافيتين لطهي الكواركات. وسرعان ما انجذبت الكواركات كلها بعضها إلى بعض، مكونة عائلة جديدة دائمة من الجسيمات الثقيلة تسمى الهادرونات (المشتقة من كلمة يونانية بمعنى «غليظ»). وسريعًا أنتج هذا التحول من الكواركات إلى الهادرونات كلًّا من البروتونات والنيوترونات، إلى جانب أنواع أخرى أقل شهرة من الجسيمات الثقيلة، وجميعها تتألف من تجميعات متباينة من الكواركات. لقد انتقل عدم التناظر البسيط بين المادة والمادة المضادة في الكواركات–اللبتونات إلى الهادرونات، وهو ما حمل تبعات مذهلة.

مع برودة الكون قلَّ مقدار الطاقة المتاح لعملية التكون التلقائي للجسيمات باطراد. وإبان فترة الهادرونات لم يعد باستطاعة الفوتونات الاعتماد على المعادلة ط = ك × س^{٢} لتصنيع أزواج من الكواركات والكواركات المضادة؛ إذ لم تعد طاقاتها تكفي لتغطية

الكتلة المضروبة في سرعة الضوء لتلك الأزواج. إضافة إلى ذلك استمرت الفوتونات التي ظهرت للوجود نتيجة عمليات الإفناء المتبقية في فقدان الطاقة لمصلحة الكون دائم التمدد، وبهذا قلَّت طاقاتها في نهاية المطاف إلى أقل من المستوى المطلوب لتخليق أزواج الهادرونات-الهادرونات المضادة. خلفت كل مليار عملية إفناء مليارًا من الفوتونات، في حين نجا هادرون وحيد، كشاهد صامت على الزيادة الطفيفة للمادة على المادة المضادة في فترة الكون المبكر. وفي النهاية ستحظى تلك الهادرونات المنفردة بكل المتعة التي يمكن أن تستمتع بها المادة؛ إذ ستنشأ المجرات والنجوم والكواكب والبشر منها.

من دون هذا الخلل في التوازن بين جسيمات المادة والمادة المضادة البالغ مليارًا وواحدًا إلى مليار، كانت كتلة الكون بأسرها (باستثناء المادة المظلمة التي يظل تكوينها مجهولًا) ستفنى قبل مرور ثانية وحيدة من عمر الكون، تاركة لنا كونًا لا نرى فيه (لو كان لنا وجود وقتها) سوى الفوتونات ولا شيء آخر؛ وهذا هو السيناريو الأساسي لوجود الضوء.

بحلول ذلك الوقت كانت قد مرت ثانية واحدة من عمر الكون.

في درجة حرارة قدرها مليار درجة كان الكون حارًّا بدرجة كبيرة، ولا يزال قادرًا على طهي الإلكترونات التي تواصل الظهور للوجود والاختفاء، إلى جانب نظيراتها من البوزيترونات (المادة المضادة). لكن مع استمرار الكون في التمدد والبرودة صارت أيامها (ثوانيها في الواقع) معدودة. وما انطبق قبل ذلك على الهادرونات بات ينطبق على الإلكترونات والبوزيترونات؛ إذ بدأت في إفناء بعضها بعضًا، مع بقاء إلكترون وحيد من كل مليار، هو الناجي الوحيد من عملية الانتحار الجماعي للمادة والمادة المضادة. أما بقية الإلكترونات والبوزيترونات فقد فنيت لتغمر الكون ببحر أعظم من الفوتونات.

مع انتهاء مرحلة فناء الإلكترونات-البوزيترونات «جمد» الكون إلكترونًا واحدًا لكل بروتون. ومع استمرار برودة الكون، وهبوط درجة حرارته إلى ما تحت المائة مليون درجة، اندمجت البروتونات مع غيرها من البروتونات والنيوترونات، مكونة أنوية الذرات ومتمخضة عن كون ٩٠ بالمائة من أنوية ذراته هي أنوية لذرات هيدروجين و١٠ بالمائة أنوية لذرات هيليوم، إلى جانب نسبة طفيفة من أنوية ذرات الديوتيريوم والتريتيوم والليثيوم.

مرت دقيقتان الآن على لحظة البداية.

على مدار ٣٨٠ ألف عام تالية لم يحدث الكثير لحساء الجسيمات المكون من أنوية الهيدروجين والهيليوم والإلكترونات والفوتونات. وخلال تلك الآلاف من السنوات ظلت

حرارة الكون مرتفعة بما يكفي كي تتجول الإلكترونات بحرية بين الفوتونات، مطيحة بها جيئةً وذهابًا.

وكما سنوضح بتفصيل أكبر في الفصل الثالث انتهت فترة الحرية هذه بصورة مباغتة حين هبطت حرارة الكون إلى ما تحت الثلاثة آلاف درجة كلفينية (حوالي نصف درجة حرارة سطح الشمس). في ذلك الوقت تقريبًا كانت الإلكترونات كلها تدور في مدارات حول الأنوية، مكونة الذرات. ترك تزاوجُ الإلكترونات بالأنوية الذراتِ المتكونةَ حديثًا وسط فيض شامل من فوتونات الضوء المرئي، وهو ما أكمل قصة تكون الجسيمات والذرات في الكون البدائي.

ومع استمرار الكون في التمدد واصلت الفوتونات فقدان الطاقة. وفي كل اتجاه ينظر فيه الفيزيائيون الفلكيون اليوم يجدون بصمة كونية للفوتونات الميكرونية البالغة حرارتها ٢٫٧٣ درجة كلفينية، التي تمثل انخفاضًا بمقدار ألف مرة في طاقة الفوتونات عن الوقت الذي تكونت فيه الذرات للمرة الأولى. إن أنماط الفوتونات في السماء — مقدار الطاقة الدقيق الذي يصل من جميع الاتجاهات — يحتفظ بذكرى التوزيع الكوني للمادة قبيل تكون الذرات تمامًا. ومن هذه الأنماط يستطيع الفيزيائيون الفلكيون اكتساب معارف مذهلة؛ بما فيها عمر الكون وشكله. ومع أن الذرات الآن تشكل جزءًا من الحياة اليومية للكون، فإن معادلة أينشتاين لا يزال أمامها الكثير من العمل لتقوم به، وذلك في معجلات الجسيمات، حيث تُخلَّق جسيمات المادة والمادة المضادة على نحو روتيني من مجالات الطاقة؛ وفي قلب الشمس، حيث يتحول ٤٫٤ ملايين طن من المادة إلى طاقة كل ثانية؛ وفي قلوب النجوم الأخرى جميعها.

تنطبق المعادلة ط = ك × س^{٢} بالقرب من الثقوب السوداء أيضًا، خارج أفق الحدث الخاص بها مباشرة، حيث يمكن أن تظهر أزواج المادة والمادة المضادة للوجود على حساب طاقة الجذب المرعبة للثقب الأسود. كان عالم الكونيات البريطاني ستيفن هوكينج هو أول من وصف ذلك التزاوج الصاخب في عام ١٩٧٥، مبينًا أن الكتلة الكلية للثقب الأسود يمكن أن تتبخر ببطء بفعل هذه الآلية. بعبارة أخرى، ليست الثقوب السوداء سوداء بالكامل. تُعرف هذه الظاهرة باسم إشعاع هوكينج، وهي تذكير بالفعالية المستمرة لأشهر معادلات أينشتاين.

لكن ما الذي حدث «قبل» هذا الهياج الكوني الهائل؟ ما الذي حدث قبل البداية؟

ليست لدى الفيزيائيين الفلكيين أي فكرة. بل إن أغلب أفكارنا الإبداعية ليست مبنية إلا على أقل القليل من الأساس العلمي التجريبي، إن كان هناك أساس أصلًا.

يؤكد البعض — بمسحة من الرضا — أن شيئًا ما لا بد أنه بدأ كل هذا؛ قوة أعظم من بقية القوى؛ مصدر جاء منه كل شيء آخر؛ محرك أساسي. في عقول المتدينين هذه القوة هي بالطبع القوة الإلهية، التي تتباين طبيعتها من مؤمن لآخر، لكن تُعزى إليها دومًا مسئولية بدء كل شيء.

لكن ماذا لو كان الكون موجودًا طوال الوقت، في حالة أو وضع لم نحدده بعد؛ كون متعدد على سبيل المثال يكون فيه كل ما نطلق عليه اسم الكون ليس إلا فقاعة ضئيلة في محيط يمتلئ بفقاعات كفقاعات الصابون؟ أو ماذا لو أن الكون، مثل جسيماته، ظهر للوجود بغتة من لا شيء يمكن رؤيته؟

لا ترضي مثل هذه الأجوبة أحدًا. ومع هذا فهي تذكرنا بأن الجهل المستنير هو الحالة الطبيعية لعقول العلماء الباحثين عند حدود المعرفة دائمة التغير. إن مَن يؤمنون بأنهم لا يجهلون شيئًا لم يبحثوا بعدُ عن الحد الفاصل بين المعروف والمجهول في الكون أو لم يعثروا عليه، ومن هنا تنبع مفارقة مدهشة. فالجواب «الكون موجود على الدوام» لا يحظى بالاحترام الكافي كجواب منطقي للسؤال: «ماذا كان يوجد قبل البداية؟» لكن للكثيرين تكون الإجابة «القوة الغيبية البادئة للكون موجودة على الدوام» إجابة بديهية ومرضية للسؤال «ماذا كان يوجد قبل هذه القوة؟»

بصرف النظر عما تعتقده فانخراطك في السعي لاكتشاف أين وكيف بدأ كل شيء يمكن أن يستثير بداخلك بعض الحماس، كما لو أن معرفتك بالبدايات سوف تلقي على عاتقك نوعًا من عبء مواكبة كل ما سيحدث، أو ربما السيطرة عليه. وما ينطبق على الحياة ينطبق على الكون أيضًا؛ فمعرفة من أين أتينا لا تقل في الأهمية عن معرفة إلى أين نحن ذاهبون.

الفصل الثاني

المادة المضادة مهمة

ربح فيزيائيو الجسيمات مسابقة أغرب مصطلحات العلوم الطبيعية وأكثرها هزلًا في الوقت نفسه. فأين يمكن أن تجد مصطلحات مثل بوزون شعاعي محايد يجري تبادله بين ميوون سالب ونيوترينو ميووني؟ أو تبادل للجلوونات يربط كواركًا غريبًا بكوارك ساحر؟ وأين يمكنك مقابلة نظير الكوارك الفائق أو نظير الفوتون الفائق (الفوتينو) أو نظير الجرافيتون الفائق (الجرافيتينو)؟ وإلى جانب هذه الجسيمات التي تبدو لا حصر لها وتحمل أسماءً عجيبة، يجب على فيزيائيي الجسيمات البرهنة على وجود كون آخر موازٍ من الجسيمات المضادة، والمعروفة إجمالًا بالمادة المضادة. وعلى الرغم من ظهور هذه المادة المضادة المتواصل في قصص الخيال العلمي، فإن لها وجودًا حقيقيًّا. وكما قد تتصور، فهي تفنى تمامًا عند أي اتصال مع المادة العادية.

يكشف لنا الكون عن رومانسية خاصة بين الجسيمات والجسيمات المضادة. فيمكن لهذين النوعين من الجسيمات أن يُولَدا معًا من الطاقة الصافية، أو يُفني أحدهما الآخر، بحيث تعود كتلتهما المجتمعة إلى طاقة مجددًا. في عام ١٩٣٢ اكتشف الفيزيائي الأمريكي كارل ديفيد أندرسون الإلكترون المضاد، ذا الشحنة الموجبة، أو جسيم المادة المضادة المناظر للإلكترون سالب الشحنة. ومنذ ذلك الوقت اكتشف فيزيائيو الجسيمات بشكل روتيني جسيمات مضادة من مختلف الأنواع في معجلات الجسيمات على مستوى العالم، لكنهم حديثًا فقط نجحوا في مزج جسيمات المادة المضادة في ذرات كاملة. فمنذ عام ١٩٩٦ نجحت مجموعة من العلماء من مختلف الجنسيات — بقيادة فالتر أوليرت من معهد أبحاث الفيزياء النووية في جيليك بألمانيا — في تخليق ذرات للهيدروجين المضاد، يدور فيها إلكترون مضاد حول بروتون مضاد في سعادة. ولتخليق هذه الذرات المضادة الأولى، استخدم الفيزيائيون معجل الجسيمات العملاق الذي تديره المنظمة الأوروبية

للأبحاث النووية (والشهير بالاختصار الفرنسي «سيرن») في جنيف بسويسرا، وهو المكان الذي شهد حدوث إسهامات عديدة مهمة في فيزياء الجسيمات.

يستخدم الفيزيائيون وسيلة بسيطة للتخليق؛ إذ يأتون بمجموعة من الإلكترونات المضادة، ومجموعة من البروتونات المضادة، ثم يجمعون بينها في درجة حرارة وكثافة مواتيتين، وينتظرون أن تتحد بعضها مع بعض لتكون ذرات. أثناء الجولة الأولى من التجارب أنتج فريق أوبليرت تسع ذرات من الهيدروجين المضاد. لكن في عالم تهيمن عليه المادة العادية تكون حياة ذرات المادة المضادة قصيرة للغاية. وبالفعل استمرت ذرات الهيدروجين المضاد لأقل من ٤٠ نانو ثانية (٤٠ جزءًا من مليار جزء من الثانية) قبل أن تفنى مع ذرات المادة العادية.

كان اكتشاف الإلكترون المضاد أحد أعظم انتصارات الفيزياء النظرية؛ وذلك لأنه تم التنبؤ بوجوده قبل هذا بسنوات قلائل على يد الفيزيائي البريطاني المولد بول إيه إم ديراك.

لوصف المادة على أصغر مستويات الحجم — أي على مستويات الجسيمات الذرية ودون الذرية — طوَّر الفيزيائيون فرعًا جديدًا من الفيزياء خلال عشرينيات القرن العشرين لتفسير نتائج تجاربهم على هذه الجسيمات. وباستخدام قواعد موضوعة حديثًا وقتها، تُعرف الآن باسم نظرية الكم، افترض ديراك من حلٍّ ثانٍ لمعادلته وجود إلكترون شبحي من «الجانب الآخر» قد يظهر للوجود بغتة كإلكترون عادي، مخلِّفًا وراءه فجوة أو ثقبًا في بحر الطاقات السالبة. ومع أن ديراك كان يأمل في تفسير البروتونات بالطريقة نفسها، فإن فيزيائيين آخرين اقترحوا أن هذه الفجوة ستكشف عن نفسها تجريبيًّا على صورة إلكترون مضاد موجب الشحنة، الذي صار معروفًا بالبوزيترون بفضل شحنته الموجبة. أكد الاكتشاف الفعلي للبوزيترونات صحة فكرة ديراك الأساسية، ورسخ وجود المادة المضادة بحيث صارت تحظى بالاحترام نفسه الذي تحظى به المادة العادية.

ليست المعادلات ثنائية الحل بالشيء الغريب. ومن أبسط الأمثلة على هذا إجابة سؤال «ما الرقم الذي إذا ضُرب في نفسه يكون الناتج تسعة؟» هل هو ٣ أم −٣؟ بالطبع كلاهما صحيح؛ لأن ٣ × ٣ = ٩، وأيضًا −٣ × −٣ = ٩. ليس بوسع الفيزيائيين أن يضمنوا توافق جميع حلول المعادلات مع الواقع، لكن لو كان النموذج الرياضي لظاهرة فيزيائية ما صحيحًا، فإن تعديل معادلاته يمكن أن يكون بنفس فائدة التعديل في الكون بأسره (وبصورة ما أسهل من هذا التعديل). وكما في حالة ديراك والمادة المضادة عادة

تقود مثل هذه الخطوات إلى تنبؤات قابلة للتحقق تجريبيًّا. وإذا ثبت خطأ التنبؤ تُنَحَّى النظرية جانبًا. لكن بغض النظر عن النتيجة المادية يضمن النموذج الرياضي أن النتائج التي نخلص إليها منه منطقية ومتسقة داخليًّا أيضًا.

للجسيمات دون الذرية العديد من الخصائص القابلة للقياس، من أهمها الكتلة والشحنة الكهربية. وباستثناء الكتلة، التي تكون واحدة دائمًا في الجسيم والجسيم المضاد، فإن الخصائص الأخرى للجسيم المضاد ستكون مناقضة دومًا لخصائص الجسيم الذي هو «مضاد» له. على سبيل المثال، للبوزيترون نفس كتلة الإلكترون، لكن للبوزيترون شحنة موجبة واحدة بينما للإلكترون شحنة سالبة واحدة. وبالمثل، البروتون المضاد يحمل شحنة مضادة لشحنة البروتون.

صدق هذا أو لا تصدقه، لكن حتى النيوترون عديم الشحنة له جسيم مضاد، وهو يسمى — كما خمنت — بالنيوترون المضاد. النيوترون المضاد له شحنة صفرية مضادة لتلك الخاصة بالنيوترون العادي. هذا السحر الحسابي نابع من طبيعة الشحنة الجزئية التي تحملها الجسيمات الثلاثة المكونة للنيوترون (الكواركات). فالكواركات الثلاثة التي يتألف منها النيوترون العادي لها شحنات −١ / ٣ و−١ / ٣ و+٢ / ٣، لكن تلك التي يتألف منها النيوترون المضاد لها شحنات ١ / ٣ و١ / ٣ و−٢ / ٣. فكل مجموعة من الكواركات الثلاثة شحنتها الإجمالية صفر، لكن المكونات المنفردة لها شحنات معاكسة.

يمكن أن تظهر المادة المضادة للوجود من الفراغ. فإذا امتلكت فوتونات أشعة جاما طاقة عالية كافية، يمكنها تحويل نفسها إلى أزواج من الإلكترونات–البوزيترونات، وبهذا تحول كل طاقتها الكبيرة إلى قدر يسير من المادة، في عملية تتبع فيها الطاقة معادلة أينشتاين ط = ك × س^{٢}.

وفقًا لتفسير ديراك الأصلي، فإن فوتون أشعة جاما ركل الإلكترون خارج نطاق الطاقات السلبية، لينتج عن ذلك إلكترون عادي وثقب للإلكترون. يمكن أن تحدث العملية عينها بالعكس. فإذا اصطدم جسيم بالجسيم المضاد له فسيفنيان من خلال إعادة ملء الثقب وإطلاق أشعة جاما. وأشعة جاما نوع من الإشعاع عليك تجنبه.

إذا تمكَّنت بصورة ما من تصنيع كرة من الجسيمات المضادة في المنزل، فستكون في موقف عصيب يحتِّم عليك التصرف بسرعة. سيمثل حفظ هذه المادة تحديًا ملحًّا؛ لأن مادتك المضادة ستفنى عند أبسط تلامس مع أي حقيبة عادية أو كيس بقالة (سواء كانا مصنوعين من الورق أو البلاستيك) قد تختار أن تحتويها أو تحملها بداخله. ثمة وسيلة

حفظ أكثر براعة تتمثل في حبس جسيمات المادة المضادة داخل حدود مجال مغناطيسي قوي، حيث ستصدها «الجدران» المغناطيسية الخفية الفعَّالة للغاية. وإذا أنشأت المجال المغناطيسي في الفراغ، يمكنك حماية المادة المضادة من الفناء مع المادة العادية. هذا المجال المغناطيسي المكافئ لزجاجة الحفظ سيكون الاختيار الحصيف كلما وجب عليك التعامل مع أي مواد مستعصية على الاحتواء، على غرار الغازات المتوهجة التي تصل حرارتها إلى ١٠٠ مليون درجة في تجارب الاندماج النووي (الخاضعة للسيطرة). ستنشأ المشكلة الأعظم في التخزين بعد أن تتمكن من تخليق ذرات كاملة؛ لأن ذرات المادة، مثل المادة العادية، لا ترتد عن جدران المجال المغناطيسي. وسيكون من الحكمة أن تحتفظ بالبوزيترونات والبوزيترونات المضادة في حاويات مغناطيسية منفصلة إلى أن تحتاج للجمع بينها.

يتطلب توليد المادة المضادة قدرًا من الطاقة لا يقل عن الطاقة التي يمكن استعادتها عند فناء المادة المضادة مع المادة العادية. وما لم يكن لديك ملء خزان من وقود المادة المضادة قبل الانطلاق، فإن محرك المادة المضادة المولد لذاته سيبدأ في امتصاص الطاقة ببطء من سفينتك الفضائية. ربما جسد المسلسل التليفزيوني وسلسلة الأفلام الأصلية التي تحمل عنوان «ستار تريك» هذه الحقيقة، فقد كان الكابتن كيرك دائمًا يطالب بـ «المزيد من الطاقة» من محركات المادة-المادة المضادة، وكان سكوتي دائمًا يجيبه بلكنته الأسكتلندية قائلًا: «المحركات لا يمكنها تحمل المزيد.»

ومع أن الفيزيائيين يتوقعون من ذرات المادة والمادة المضادة أن تتصرف بالطريقة نفسها، فإنهم لم يتحققوا من هذا التنبؤ تجريبيًّا بعد؛ في المقام الأول بسبب الصعوبة التي يواجهونها في الاحتفاظ بذرات الهيدروجين المضاد، دون أن تفنى على الفور تقريبًا مع البروتونات والإلكترونات. كم يودون التحقق من أن السلوك التفصيلي للبوزيترون المرتبط بالبروتون المضاد في ذرة الهيدروجين المضاد سيذعن لكافة قوانين نظرية الكم، وأن جاذبية الذرات المضادة ستتصرف على النحو عينه الذي نتوقعه من الذرات العادية. هل يمكن للذرات المضادة أن تنتج جاذبية مضادة (طاردة) بدلًا من الجاذبية العادية (الجاذبة)؟ تشير جميع النظريات إلى الاحتمال الثاني، لكن الاحتمال الأول — لو ثبتت صحته — يمكن أن يقدم لنا رؤى جديدة تمامًا عن الطبيعة. فعلى مستوى الذرات تكون قوة الجاذبية بين أي جسيمين ضئيلة للغاية. وعوضًا عن الجاذبية تتحكم القوة الكهرومغناطيسية والقوتان النوويتان في سلوك الجسيمات الدقيقة؛ لأن كلتا القوتين

أقوى بكثير من قوة الجاذبية. ولاختبار الجاذبية المضادة، سنكون بحاجة لعدد كافٍ من الذرات المضادة لتكوين أجسام ذات أحجام عادية، حتى نستطيع قياس خصائصها الكلية ومقارنتها بالمادة العادية. إذا صُنِعَت مجموعة من كرات البلياردو (بالإضافة إلى طاولة وعصي البلياردو بالطبع) من المادة المضادة، هل يمكن التفريق بين لعبة البلياردو المضادة والعادية؟ هل ستسقط الكرة رقم ثمانية المضادة في الجيب بالصورة عينها التي تسقط بها الكرة رقم ثمانية العادية؟ هل ستدور الكواكب المضادة حول النجم المضاد مثلما تدور الكواكب العادية حول النجوم العادية؟

من المنطقي الافتراض أن خصائص المادة المضادة على المستوى الأكبر ستكون مطابقة لخصائص المادة العادية، كالجاذبية العادية والتصادمات العادية والضوء العادي وما إلى ذلك، وهذا الافتراض يتماشى مع جميع تنبؤات الفيزياء الحديثة. لكن مع الأسف، هذا يعني أنه لو كانت هناك مجرة مضادة متجهة نحونا، في طريقها للاصطدام بمجرة درب التبانة، فسيستحيل تمييزها عن المجرات العادية إلى أن يكون الوقت قد فات لعمل أي شيء. لكن مثل هذا المصير المخيف ليس شائعًا في الكون اليوم؛ لأنه لو حدث مثلًا أن فني نجم مضاد مع آخر عادي، فسيكون تحول مادتيهما، العادية والمضادة، إلى طاقة من أشعة جاما تحولًا سريعًا عنيفًا شاملًا. فإذا اصطدم نجمان لهما كتلة مساوية لكتلة الشمس (أي يحتوي الواحد منهما على ١٠^{٥٧} من الجسيمات) أحدهما بالآخر في مجرتنا، فسينتج عن التحامهما جسم ساطع للغاية تتولد عنه مؤقتًا طاقة تفوق طاقة كل النجوم الموجودة في ١٠٠ مليون مجرة ويدمر الأرض تدميرًا. ليس لدينا دليل دامغ على وقوع مثل هذا الحدث في أي مكان بالكون؛ لذا فإن الأكثر ترجيحًا هو أن الكون تهيمن عليه المادة العادية، وقد ظل على هذا النحو منذ الدقائق الأولى عقب الانفجار العظيم. ومن ثم، لست بحاجة لوضع سيناريو الفناء الشامل بسبب الاصطدام بين المادة العادية والمادة المضادة بين أهم مخاوفك عند القيام برحلتك التالية بين المجرات.

ومع هذا، يبدو الكون اليوم في حالة مقلقة من عدم التوازن؛ فنحن نتوقع أن تُخلَّق الجسيمات والجسيمات المضادة بأعداد متساوية، لكننا نجد الكون بأسره تهيمن عليه الجسيمات العادية، التي تبدو مستقرة تمامًا دون الجسيمات المضادة. هل هناك جيوب خفية من المادة المضادة في الكون تفسر عدم التوازن هذا؟ هل انتُهك أحد قوانين الفيزياء (أو تسبب في هذا الوضع قانون فيزيائي غير معروف؟) إبان مرحلة الكون المبكر، بحيث تسبب في ترجيح كفة المادة العادية على المادة المضادة إلى الأبد؟ قد لا نعرف إجابات

هذه الأسئلة قط، لكن مؤقتًا، إذا اقترب كائن فضائي من باحة منزلك ومد لك إحدى زوائده كبادرة تحية، ألقِ له كرة البلياردو الخاصة بك قبل أن تصافحه بود. إذا انفجرت الكرة والزائدة، فالأرجح أن هذا الكائن يتكون من المادة المضادة (بالطبع لن نشغل بالنا بتفاصيل مثل كيف سيستجيب هو ورفاقه لهذه النتيجة، وماذا قد يفعل الانفجار بك)، وإذا لم يحدث شيء يمكنك مصافحة هذا الصديق الجديد بأمان ثم اصطحابه إلى قائدك.

الفصل الثالث

ليكن نور

حين كان عمر الكون لا يتجاوز كسرًا بسيطًا من الثانية، وحرارته الهائلة تناهز التريليون درجة، وكان يتوهج في سطوع يستحيل تخيله، كان هدفه الرئيسي هو التمدد. ومع كل لحظة تمر كان الكون يكبر في الحجم، مع ظهور المزيد والمزيد من الفضاء من العدم (ليس من اليسير تصور هذا، لكن في هذا الصدد تتحدث الأدلة بصوت أعلى من المنطق). ومع تمدد الكون بدأ يبرد ويخفت. وعلى مدار مئات الآلاف من السنوات تعايشت المادة والطاقة فيما يشبه الحساء الثخين، الذي تشتت فيه الإلكترونات السريعة فوتونات الضوء في كل مكان على نحو مستمر.

في ذلك الوقت، إذا كانت مهمتك هي النظر عبر الكون، ما كنت لتتمكن من فعل هذا؛ فأي فوتون في سبيله لدخول عينيك سيتشتت قبل حدوث هذا بجزء من المليار (نانو ثانية) أو التريليون (بيكو ثانية) من الثانية بفعل الإلكترونات الموجودة أمام وجهك مباشرة. لن ترى سوى ضباب متوهج في جميع الاتجاهات، وستكون البيئة المحيطة بك — الساطعة، نصف الشفافة، ذات اللون الأبيض المشرب بالحمرة — في درجة سطوع سطح الشمس.

ومع تمدد الكون انخفضت الطاقة التي يحملها كل فوتون. وفي النهاية، حين وصل عمر الكون إلى ٣٨٠ ألف عام، انخفضت درجة حرارته لما دون الثلاثة آلاف درجة، وكان من نتيجة ذلك أن تمكنت البروتونات وأنوية الهيليوم من اقتناص الإلكترونات بشكل دائم، وبهذا ظهرت الذرات إلى الوجود. في الحقب السابقة على ذلك كان كل فوتون يتمتع بطاقة كافية لتمزيق أي ذرة حديثة التكون إربًا، لكن الآن فقدت الفوتونات هذه القدرة، وذلك بفضل التمدد الكوني. وهكذا استطاعت الفوتونات أخيرًا، بفضل قلة عدد الإلكترونات الحرة التي تعيقها، أن تتحرك بحرية عبر الفضاء دون الاصطدام بشيء.

وفي ذلك الوقت صار الكون شفافًا؛ إذ انزاح الضباب، وتحررت خلفية كونية من الضوء المرئي.

تستمر الخلفية الكونية في الوجود إلى يومنا هذا، كبقايا للضوء القادم المبهر المتوهج الذي غمر الكون المبكر. هذه الخلفية هي فيض من الفوتونات يغمر الوجود بأسره، وهي تتصرف كموجات مثلما تتصرف كجسيمات. إن الطول الموجي لكل فوتون يساوي الفترة الفاصلة بين قمة كل ذبذبة له والقمة التالية لها، وهي مسافة يمكن قياسها بالمسطرة، هذا بالطبع لو استطعت الإمساك بأحد الفوتونات. تتحرك كل الفوتونات بالسرعة عينها في الفراغ، وتبلغ ١٨٦ ألف ميل في الثانية (والمسماة بطبيعة الحال بسرعة الضوء)؛ لذا تملك الفوتونات ذات الطول الموجي الأقصر عددًا أكبر من القمم الموجية التي تعبر نقطة بعينها في كل ثانية. وبهذا تتذبذب الفوتونات ذات الطول الموجي الأقصر بقدر أكبر في أي فترة زمنية، وبهذا يكون لها تردد أعلى، والتردد هنا يعني عدد الذبذبات في الثانية. يعد تردد الفوتون مؤشرًا على مقدار الطاقة التي يحملها؛ فكلما زاد تردد الفوتون حمل طاقة أكبر.

مع انخفاض حرارة الكون فقدت الفوتونات الطاقة لمصلحة الكون المتمدد. فالفوتونات المولودة في أشعة جاما والأشعة السينية على تدريج الطيف الضوئي تحولت إلى فوتونات للأشعة فوق البنفسجية، والضوء العادي، والأشعة تحت الحمراء. ومع تعاظم أطوالها الموجية صارت أقل حرارة وطاقة، لكن طبيعتها كفوتونات لم تتغير. واليوم، بعد ١٣,٧ مليار عام على البداية، تحركت فوتونات الخلفية الكونية نزولًا على الطيف الضوئي لتصير فوتونات ميكرونية. ولهذا السبب يسميها الفيزيائيون الفلكيون «الخلفية الميكرونية الكونية»، مع أن المسمى الأكثر استمرارية سيكون «إشعاع الخلفية الكوني». وبعد مائة مليار سنة من اليوم، حين يكون الكون قد تمدد وبرد أكثر وأكثر، سيسمي الفيزيائيون الفلكيون المستقبليون إشعاع الخلفية الكوني بـ «الخلفية الراديوية الكونية».

تنخفض حرارة الكون مع زيادة حجمه. هذه قاعدة فيزيائية. فمع ابتعاد أجزاء الكون بعضها عن بعض لا بد للطول الموجي لإشعاع الخلفية الكوني أن يزيد؛ أي إن الكون يطيل هذه الموجات داخل النسيج المرن للمكان والزمان. ولأن طاقة كل فوتون تتناسب عكسيًّا مع طوله الموجي، من شأن كل الفوتونات الحرة أن تفقد نصف طاقاتها الأصلية مع كل تضاعف لحجم الكون.

تشع كل الأجسام التي لها حرارة أعلى من الصفر المطلق فوتونات على مختلف نطاقات الطيف. لكن هذا الإشعاع لا بد أن يكون له ذروة في مكان ما. تقع ذروة الطاقة الناتجة عن إشعاع مصباح الإضاءة المنزلي في نطاق الأشعة تحت الحمراء على الطيف، وهو ما يمكنك استشعاره من خلال الدفء الذي تشعر به على جلدك. بالطبع تشع المصابيح المنزلية قدرًا وفيرًا من الضوء المرئي، وإلا ما كنا لنشتريها. وبهذا يمكنك الإحساس بإشعاع المصباح مثلما يمكنك رؤيته.

تقع ذروة إشعاع الخلفية الكوني على طول موجي قدره حوالي ملليمتر واحد، في نطاق الموجات الميكرونية على الطيف. والشوشرة الاستاتيكية التي تسمعها في أجهزة اللاسلكي آتية من فيض غامر من الموجات الميكرونية، ونسبة مئوية بسيطة منها تخص إشعاع الخلفية الكوني. أما بقية «الضوضاء» فآتية من الشمس، والهواتف المحمولة، ورادارات قياس السرعة التي تستخدمها الشرطة وغيرها من المصادر. يحتوي إشعاع الخلفية الكوني — إلى جانب بلوغه الذروة في منطقة الموجات الميكرونية — أيضًا على موجات الراديو (التي تمكنه من الشوشرة على إشارات الراديو الأرضية) إلى جانب عدد قليل للغاية من الفوتونات ذات الطاقة الأعلى من هذه الموجات.

تنبَّأ العالم أمريكي الجنسية أوكراني الأصل جورج جاموف وزملاؤه بوجود إشعاع الخلفية الكوني في أربعينيات القرن العشرين، موحِّدين جهودهم في ورقة بحثية نشرت عام ١٩٤٨ طبقت قوانين الفيزياء المعروفة وقتها على الظروف الغريبة لمرحلة الكون المبكر. جاء أساس ورقتهم البحثية من ورقة أخرى نشرت عام ١٩٢٧ لجورج إدوارد لوميتر، الفلكي البلجيكي والقس اليسوعي، والمعترف به اليوم بوصفه «أبو» علم كونيات الانفجار العظيم. إلا أن أول من قام بتقدير الحرارة التي من المفترض أن يكون عليها إشعاع الخلفية الكوني هما الفيزيائيان الأمريكيان رالف ألفر وروبرت هيرمان، اللذان تعاونا من قبل مع جاموف.

بالنظر إلى الأمر من وضعنا اليوم نجد أن ألفر وجاموف وهيرمان استندوا إلى ما يمكن تسميته اليوم بالحجة البسيطة نسبيًّا، التي عرضنا لها بالفعل، القائلة إن نسيج الزمكان كان أصغر بالأمس عما هو عليه اليوم، وبما أنه كان أصغر، فمن المؤكد وفق أبسط قواعد الفيزياء أنه كان أشد حرارة. وهكذا أعاد الفيزيائيون عقارب الساعة إلى الوراء لتخيل الحقبة التي وصفناها قبل ذلك، وقت أن كان الكون حارًّا للغاية حتى إن أنوية الذرات كانت مجردة من الإلكترونات؛ لأن اصطدام الفوتونات بالإلكترونات جعلها

تتشتت في أرجاء الفضاء. في ظل هذه الظروف، كما افترض ألفر وهيرمان، استحال على الفوتونات التحرك بسرعتها دون إعاقة عبر الكون، كما هو الحال اليوم. إن التحرك الحر للفوتونات يتطلب أن يكون الكون قد برد بما يكفي لجعل الإلكترونات تستقر في مدارات حول أنوية الذرات. شكل هذا ذرات كاملة، وسمح للضوء بالتحرك بحرية دون إعاقة.

ومع أن جاموف كان هو صاحب النبوءة المستبصرة الحاسمة القائلة إن الكون المبكر لا بد أنه كان أعلى حرارة بكثير عن الكون اليوم، فإن ألفر وهيرمان كانا أول من حسبا رياضيًّا الحرارة التي سيكون عليها الكون اليوم: ٥ درجات كلفينية. أجل، كان الرقم خاطئًا؛ إذ إن حرارة إشعاع الخلفية الكوني تبلغ ٢٫٧٣ درجة كلفينية وحسب. ومع هذا فقد أجرى هؤلاء الرجال الثلاثة عملية استقراء منطقية ناجحة في أعماق حقب كونية اختفت منذ زمن بعيد، وهو إنجاز علمي لا يقل عن سواه من الإنجازات في تاريخ العلم. فأَخْذ بعض مبادئ الفيزياء الذرية من المختبر، ثم استنتاج أكبر الظواهر التي قيست على الإطلاق — تاريخ حرارة الكون — لا يمكن أن يوصف إلا بأنه أمر مذهل. كتب جيه ريتشارد جوت الثالث، الفيزيائي الفلكي بجامعة برينستون، عن قيمة هذا الإنجاز في كتابه «السفر عبر الزمن في كون أينشتاين» قائلًا: «إن التنبؤ بأن الإشعاع كان موجودًا ثم استنتاج حرارته بشكل صحيح في حدود معامل ضرب قدره ٢ كان إنجازًا بارزًا، أشبه بالتنبؤ بهبوط طبق طائر قطره ٥٠ قدمًا على حديقة البيت الأبيض ثم مشاهدة طبق فعلي قطره ٢٧ قدمًا وهو يهبط بالفعل.»

حين قدم جاموف وألفر وهيرمان تنبؤاتهم، كان الفيزيائيون لم يحسموا أمرهم بعد بشأن قصة بداية الكون. ففي عام ١٩٤٩، العام نفسه الذي ظهرت فيه ورقة ألفر وهيرمان البحثية، ظهرت نظرية منافسة عن «الحالة الثابتة» في ورقتين بحثيتين نشرتا في إنجلترا، إحداهما اشترك في وضعها الرياضي هيرمان بوندي والفيزيائي الفلكي توماس جولد، والثانية لعالم الكونيات فريد هويل. تقضي نظرية الحالة الثابتة بأن الكون، رغم تمدده، كان يبدو على الدوام على الشكل عينه، وهي فرضية جذابة للغاية من فرط بساطتها. لكن لأن الكون يتمدد، ولأن كون الحالة الثابتة لن يكون أعلى حرارة أو كثافة بالأمس عما هو عليه اليوم، افترض سيناريو بوندي-هويل الظهور المباغت المتواصل للمادة في الكون بمعدلات مواتية للحفاظ على متوسط ثابت للكثافة في الكون المتمدد. وعلى النقيض من ذلك، تقول نظرية الانفجار العظيم (التي حصلت على هذا الاسم من

النقد الساخر لفريد هويل) بظهور المادة كلها للوجود في اللحظة عينها، وهو ما يجده البعض مرضيًا من الناحية العاطفية. لاحظ أن نظرية الحالة الثابتة تلقي بقضية بداية الكون إلى الوراء لمسافات لا نهائية عبر الزمن، وهو الأمر الملائم للغاية لمن لا يفضلون خوض غمار هذه القضية الشائكة.

كان التنبؤ بوجود إشعاع الخلفية الكوني جرس إنذار لدعاة نظرية الحالة الثابتة. ووجود إشعاع الخلفية الكوني سيؤكد بما لا يدع مجالًا للشك أن الكون كان مختلفًا فيما مضى — أصغر وأشد حرارة بكثير — مما هو عليه اليوم. وهكذا دقت أولى عمليات الرصد المباشر لإشعاع الخلفية الكوني المسامير الأولى في نعش نظرية الحالة الثابتة (مع أن فريد هويل لم يتقبل بشكل تام أن إشعاع الخلفية الكوني يدحض نظريته الأنيقة، وظل حتى مماته يحاول عَزْوَ هذا الإشعاع لمسببات أخرى). وفي عام ١٩٦٤ اكتُشف هذا الإشعاع على نحو عرضي وغير مقصود على يد كل من أرنو بنزياس وروبرت ويلسون في مختبرات شركة بيل للهواتف (أو مختبرات بيل اختصارًا) في موراي هيل بنيوجيرسي. ولم يمضِ عقد من الزمان حتى حصل بنزياس وويلسون على جائزة نوبل لحظهما الحسن واجتهادهما.

ما الذي قاد بنزياس وويلسون لجائزة نوبل؟ في أوائل الستينيات كان الفيزيائيون يعرفون بشأن الموجات الميكرونية، لكن لم يتمكن أحد من رصد الإشارات الضعيفة في النطاق الميكروني الضيق على الطيف. في ذلك الوقت، كانت أغلب الاتصالات اللاسلكية (كأجهزة الاستقبال والكشف والإرسال) تعمل على موجات الراديو التي لها طول موجي أكبر من الموجات الميكرونية. ومن أجل التقاط هذا النوع الأخير من الموجات احتاج العلماء لجهاز رصد يعمل على موجات أقصر وهوائي حساس. كان لدى مختبرات بيل جهاز من هذا النوع؛ هوائي كبير الحجم، ذو شكل أشبه بالقرن يمكنه تركيز الموجات الميكرونية والتقاطها مثل أي جهاز آخر على الأرض.

إذا كنت سترسل أو تستقبل إشارة من أي نوع، فأنت لا تريد أن تتداخل إشارات أخرى معها. كان بنزياس وويلسون يحاولان فتح قناة اتصال جديدة لمصلحة مختبرات بيل؛ لذا كانا يريدان أن يحددا بدقة مقدار «التداخل» الذي ستعاني منه إشاراتهم، من الشمس، أو من مركز المجرة، أو من الأجرام السماوية، أو غيرها؛ لذا عمدا إلى إجراء معياري مهم وبريء تمامًا استهدفا منه تحديد مدى السهولة التي يستطيعان بها رصد الإشارات الميكرونية. ومع أن لدى بنزياس وويلسون معرفة بعلم الفلك، فإنهما لم يكونا

من علماء الكونيات، بل كانا فيزيائيين تقنيين يدرسان الموجات الميكرونية، غير واعيين بالتنبؤات التي وضعها جاموف وألفر وهيرمان. وبالتأكيد لم يكونا يبحثان عن إشعاع الخلفية الميكروني الكوني.

وهكذا أجريا تجربتهما، وصححا بياناتهما الخاصة بكافة مصادر التداخل المعروفة. لكنهما وجدا ضوضاء خلفية في الإشارات لم تختفِ، ولم يستطيعا معرفة كيفية الخلاص منها. بدت هذه الضوضاء وكأنها آتية من كل مكان وراء الأفق، ولم تتغير بمرور الوقت. في النهاية نظرا داخل القرن العملاق. كان الحمام يعشش هناك، تاركًا مادة بيضاء عازلة للكهرباء (مخلفات الحمام) في كل مكان. لا بد أن بنزياس وويلسون كانا يائسَين تمامًا وتساءلا: هل يمكن أن تكون مخلفات الحمام مسئولة عن ضوضاء الخلفية؟ نظفا المكان من المخلفات، وبالفعل انخفضت حدة الضوضاء قليلًا. لكنها لم تختفِ تمامًا. تشير الورقة البحثية التي نشراها عام ١٩٦٥ في دورية الفيزياء الفلكية («ذي أستروفيزيكال جورنال») إلى ذلك اللغز المستمر الخاص بـ «حرارة الهوائي الزائدة»، وليس إلى أهم اكتشاف فلكي للقرن العشرين.

بينما كان ينزياس وويلسون يزيلان مخلفات الطيور من الهوائي، عكف فريق من الفيزيائيين بجامعة برينستون، بقيادة روبرت إتش ديك، على بناء لاقط مصمم خصوصًا للعثور على إشعاع الخلفية الكوني الذي تنبَّأ جاموف وألفر وهيرمان بوجوده. لم يتح للأستاذ الجامعي نفس الموارد المتوفرة لمختبرات بيل؛ لذا تقدم العمل ببطء. وحين سمع ديك وزملاؤه عن النتائج التي توصل لها بنزياس وويلسون، عرفوا على الفور أن هناك من سبقهم لهذا الكشف. كان فريق برينستون يعرف بدقة ماهية «حرارة الهوائي الزائدة» هذه. وهكذا استقام كل شيء مع النظرية: الحرارة، وحقيقة أن الإشارة جاءت من الأنحاء كافة بمقدار متساوٍ، وأنها ليست مرتبطة بدوران الأرض حول نفسها أو موضعها في مدارها حول الشمس.

لكن لماذا ينبغي على أي شخص القَبول بهذا التفسير؟ هناك سبب وجيه يدعو لذلك. فالفوتونات تأخذ بعض الوقت كي تصلنا من الأجزاء البعيدة من الكون، وهكذا حين ننظر لأجزاء أبعد من الفضاء، فإننا ننظر عبر الزمن إلى الوراء. هذا يعني أنه لو قاست مخلوقات عاقلة على ظهر إحدى المجرات البعيدة للغاية عنا حرارة إشعاع الخلفية الكوني لديهم، قبل أن نتمكن نحن من فعل هذا بوقت طويل، من المفترض أن يجدوا حرارته

أكبر من ٢٫٧٣ درجة كلفينية؛ لأنهم سكنوا الكون حين كان أكثر شبابًا وأصغر حجمًا وأشد حرارة عما هو عليه اليوم.

هل من سبيل لاختبار مثل هذا التوكيد الجريء؟ بالطبع. لقد تبين أن مركب الكربون والنيتروجين المسمى بالسيانوجين — والمعروف للقتلة المدانين بوصفه المكون النشط في غاز الإعدام — يستثار عند التعرض للموجات الميكرونية. وإذا كانت الموجات الميكرونية هناك أدفأ من تلك الموجودة في إشعاع الخلفية الكوني، فستستثير ذلك الجزيء بشكل أكبر مما تستثيره الموجات الميكرونية لدينا. وبهذا تكون مركبات السيانوجين بمنزلة ترمومتر كوني. وحين نرصدها في مجرات أبعد، ومن ثم أصغر عمرًا، سنجدها مغمورة في إشعاع خلفية كوني أدفأ من الموجود في مجرَّتنا؛ مجرة درب التبانة. بعبارة أخرى، هذه المجرات تعيش حياة أكثر إثارة من التي نعيشها نحن. وهي كذلك بالفعل. يوضح طيف السيانوجين في المجرات البعيدة أن الموجات الميكرونية لها درجة الحرارة عينها التي نتوقعها في هذه الأوقات الكونية المبكرة.

هذا أمر لا يمكن اختلاقه.

يفيد إشعاع الخلفية الكوني الفيزيائيين الفلكيين بأكثر من مجرد تقديم دليل صريح على وجود كون مبكر حارٍّ، ومن ثم التأكيد على نموذج الانفجار العظيم؛ فقد اتَّضح أن تفاصيل الفوتونات المؤلفة لإشعاع الخلفية الكوني تصلنا محملة بمعلومات عن الكون، سواء قبل أن يصبح شفافًا أو بعد ذلك. وقد لاحظنا أنه حتى ذلك الوقت؛ أي بعد نحو ٣٨٠ ألف عام من الانفجار العظيم، كان الكون معتمًا؛ لذا كان سيستحيل عليك رؤية عملية تكون المادة، حتى لو كنت تجلس في منتصف الصف الأمامي للمسرح الكوني. لن يكون بوسعك رؤية العناقيد المجرية وهي تبدأ في التكون. وقبل أن يتمكن أي شخص — في أي مكان — من رؤية أي شيء يستحق الرؤية، كان على الفوتونات أن تكتسب القدرة على التحرك دون إعاقة في أرجاء الكون. وفي الوقت المناسب، بدأ كل فوتون رحلته عبر الكون من المكان الذي اصطدم فيه بآخر إلكترون وقف في طريقه. ومع هروب المزيد والمزيد من الفوتونات دون إعاقة من جانب الإلكترونات (بفضل ارتباط الإلكترونات بأنوية الذرات) تكوَّنت قشرة متمددة من الفوتونات يسميها الفيزيائيون الفلكيون «سطح التشتت الأخير». هذه القشرة، التي تكونت خلال فترة امتدت نحو مائة ألف عام، تميِّز الحقبة التي تكونت فيها كل الذرات في الكون تقريبًا.

بحلول ذلك الوقت كانت المادة في المناطق الكبرى من الكون قد بدأت في التجمع. وفي الأماكن التي تراكمت فيها المادة زادت قوة الجاذبية، ما مكن من تجمع المزيد والمزيد

من المادة. شكلت هذه المناطق الغنية بالمادة بذورًا للعناقيد المجرية الفائقة، بينما ظلت الأماكن الأخرى خاوية نسبيًّا. وقد طورت آخر الفوتونات التي تشتتت من الإلكترونات داخل مناطق تجمع المادة طيفًا مختلفًا، أبرد بقليل، بينما شقت طريقها خارجة من مجال الجاذبية متزايد القوة، الذي سلبها قدرًا من طاقتها.

يظهر إشعاع الخلفية الكوني مناطق أكثر حرارة وأخرى أكثر برودة من المتوسط، عادة في حدود جزء على مائة ألف من الدرجة. هذه المناطق الحارة والباردة تمثل البُنى الكونية المبكرة؛ أول مناطق لتجمع المادة. إننا نعرف ما تبدو عليه المادة اليوم؛ لأننا نرى المجرات والعناقيد المجرية والعناقيد المجرية الفائقة. ولمعرفة كيف نشأت هذه النظم فإننا نسبر أغوار إشعاع الخلفية الكوني، ذلك الأثر الباقي من الماضي البعيد، الذي لا يزال يملأ الكون بأسره. تعد دراسة أنماط إشعاع الخلفية الكوني نوعًا من علم فراسة الدماغ الكوني؛ فبإمكاننا قراءة الآثار الموجودة على «جمجمة» الكون الشاب، ومنها نستنتج سلوكه، سواء حين كان طفلًا صغيرًا أو وهو رجل بالغ.

ومن خلال إضافة ملاحظات أخرى عن المناطق الكونية القريبة والبعيدة، يستطيع علماء الفلك تحديد مختلف الخصائص الكونية الجوهرية من إشعاع الخلفية الكوني. وإذا قارنا توزيع أحجام ودرجات حرارة المناطق الأدفأ والأبرد — على سبيل المثال — فسنتمكن من استنتاج قوة الجاذبية في الكون المبكر، ومن ثم نعرف السرعة التي تراكمت بها المادة. من هذا يمكننا استنتاج قدر المادة العادية، والمادة المظلمة، والطاقة المظلمة التي يتكون منها الكون (النسب هي ٤ و٢٣ و٧٣ بالمائة على الترتيب). ومن هنا يكون من السهل معرفة هل سيواصل الكون التمدد إلى الأبد، وهل سيتسارع التمدد أو يتباطأ مع مرور الوقت.

المادة العادية هي ما يتكون منه كل شيء، وهي تمارس قوة الجذب، وبإمكانها أن تمتص الضوء وتطلقه وتتفاعل معه بطرق أخرى. أما المادة المظلمة — كما سنرى في الفصل الرابع — فهي مادة ذات طبيعة غير معروفة لها قوة جذب، لكنها لا تتفاعل مع الضوء بأي صورة معروفة. أما الطاقة المظلمة — كما سنرى في الفصل الخامس — فتحفز على زيادة معدل تمدد الكون، مجبرة الكون على التمدد بسرعة أكبر مما لو كان الحال عليه دونها. يخبرنا فحص الدماغ بأن علماء الكونيات يفهمون الآن الصورة التي كان عليها الكون المبكر، لكنه يخبرنا أيضًا بأن السواد الأعظم من الكون، في الماضي أو الحاضر، يتكون من شيء لا ندري كنهه على الإطلاق.

على الرغم من مناطق الجهل العميقة التي لا تزال تواجهنا، فإن علم الكونيات يملك اليوم مرتكزًا لم يكن متاحًا من قبل. وإشعاع الخلفية الكوني يحمل بصمة البوابة التي عبرنا منها جميعًا من قبل.

أضاف اكتشاف إشعاع الخلفية الميكروني الكوني المزيد من الدقة لعلم الكونيات من خلال تأكيده على النتيجة، المستقاة في الأساس من عمليات رصد المجرات البعيدة، القائلة إن الكون ظل يتمدد طوال مليارات الأعوام الماضية. إن خريطة الإشعاع الكوني الدقيقة المفصلة، تلك الخريطة التي صنعت في البداية لمناطق صغيرة من السماء باستخدام معدات محمولة على مناطيد وأحد التلسكوبات في القطب الجنوبي، ثم لاحقًا للسماء كلها بواسطة قمر صناعي يسمى «مسبار ويلكنسون لقياس اختلاف الموجات الميكرونية» (والمعروف اختصارًا بالمسبار WMAP)، أَمَّنت لعلم الكونيات موضعًا على طاولة العلوم التجريبية. وسوف نعرف المزيد من المسبار WMAP، الذي ظهرت أولى نتائجه عام ٢٠٠٣، قبل انتهاء حكايتنا عن علم الكونيات.

يتسم علماء الكونيات بقدر كبير من الاعتزاز بالذات، وإلا كيف واتتهم الجرأة لاستنتاج كيف أتى الكون بأسره إلى الوجود؟ لكن العصر الجديد من علم الكونيات القائم على الرصد قد يدعو المتخصصين فيه إلى التحلي بقدر أكبر من التواضع وقدر أقل من الحرية. فكل مشاهدة جديدة، وكل جزء يسير من البيانات، يمكن أن يعزز نظرية أو يقوِّضها. فمن ناحية، توفر المشاهدات أساسًا جوهريًّا لعلم الكونيات؛ أساسًا يمكن أن تأخذه علوم كثيرة كأمر مسلَّم به؛ نظرًا لقدرتها على توليد تيارات غنية من المشاهدات المعملية. لكن من ناحية أخرى، من المؤكد أن تثبت البيانات الجديدة خطأ بعض التفسيرات الخيالية التي تصوَّرَها المنظرون حين كانوا يفتقرون إلى المشاهدات التي من شأنها أن تعزز نظرياتهم أو تقوِّضها.

لن يصل أي علم إلى النضج دون بيانات دقيقة، وقد صار علم الكونيات الآن علمًا دقيقًا بالفعل.

الفصل الرابع

ليكن ظلام

تعد الجاذبية — أكثر قوى الطبيعة المألوفة لنا — أكثر الظواهر الطبيعية المفهومة، وأكثرها استعصاءً على الفهم في الوقت ذاته. لقد تطلب الأمر عقل شخص كإسحاق نيوتن، أكثر البشر عبقرية وتأثيرًا في الألفية، كي ندرك أن سمة «القوة عن بعد» الغامضة الخاصة بالجاذبية تنبع من التأثيرات الطبيعية لكل جزء من أجزاء المادة، وأن قوى الجذب بين أي جسمين يمكن وصفها من خلال معادلة جبرية بسيطة. كما تطلب الأمر عقل ألبرت أينشتاين، أكثر البشر عبقرية وتأثيرًا في القرن العشرين، كي نعرف أننا نستطيع وصف سمة القوة عن بعد الخاصة بالجاذبية بشكل أدقَّ على أنها تقوُّس في نسيج الزمكان أحدثه مزيج من المادة والطاقة. وقد بيَّن لنا أينشتاين أن نظرية نيوتن تحتاج إلى بعض التعديل كي تصف الجاذبية بدقة؛ للتنبؤ، مثلًا، بالمقدار الذي ستنحني به أشعة الضوء لدى عبورها قرب جرم ضخم. ومع أن معادلات أينشتاين أكثر تعقيدًا من معادلات نيوتن، فإنها تتوافق بدقة مع المادة التي نعرفها ونحبها؛ المادة التي يمكننا رؤيتها ولمسها والإحساس بها وتذوقها أحيانًا.

لا نعرف بعد من التالي في سلسلة العباقرة هذه، لكننا ننتظر منذ نصف قرن أن يأتي أحدهم ويفسر لنا: لماذا ينبع السواد الأعظم من قوى الجذب التي قسناها في الكون من مواد لم يسبق لنا رؤيتها أو لمسها أو الإحساس بها أو تذوُّقها. بل ربما لا تأتي قوى الجذب الزائدة هذه من المادة أساسًا، بل تنبعث من شيء لا نملك عنه أدنى تصور. على أي حال، لا نملك سبيلًا لحل هذه المعضلة. ونحن الآن لسنا أقرب من الإجابة عما كنا عليه حين اكتُشفت مشكلة «الكتلة المفقودة» هذه لأول مرة عام ١٩٣٣ على يد الفلكيين الذين قاسوا سرعات المجرات التي تؤثر جاذبيتها على جاراتها القريبة منها، والتي خضعت لتحليل أوفى عام ١٩٣٧ على يد الفيزيائي الفلكي البلغاري السويسري

الأمريكي المتألق فريتز زفيكي، الذي ظل يدرِّس في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا لأكثر من أربعين عامًا، مازجًا أفكاره واسعة النطاق عن الكون بوسائل تعبير نابضة بالحياة وقدرة مذهلة على إثارة عداء زملائه.

درس زفيكي حركة المجرات داخل عنقود مجري هائل الحجم، يقع بعيدًا وراء النجوم القريبة بمجرة درب التبانة، التي تشكل كوكبة الهلبة (أو «ضفيرة برنيس» على اسم الملكة المصرية البطلمية القديمة). إن عنقود الهلبة — كما يسميه أهل هذا العلم — هو تجمع غني منعزل من المجرات يبعد نحو ٣٠٠ مليون سنة ضوئية عن الأرض. تدور هذه المجرات حول مركز العنقود المجري، متحركة في كل مكان كالنحل الذي يدور حول القفير. وقد اكتشف زفيكي، بالاستعانة بحركة بضع عشرات من المجرات كمؤشر لمجال الجاذبية الذي يجمع العنقود بأسره معًا، أن متوسط سرعتها مرتفع على نحو صادم. وبما أن قوى الجذب الكبيرة تحث الأجسام التي تجذبها على التحرك بسرعات أكبر، خلص زفيكي إلى أن لعنقود الهلبة كتلة هائلة. وحين نحسب الكتل التقديرية لجميع المجرات سنجد أن عنقود الهلبة يعد من أضخم العناقيد المجرية وأعلاها كتلة في الكون بأسره. لكن مع هذا، لا يحوي هذا العنقود ما يكفي من المادة المرئية كي يفسر السرعة المرصودة التي تتحرك بها المجرات. يبدو أن هناك قدرًا مفقودًا من المادة إذن.

إذا طبقت قانون نيوتن للجاذبية وافترضت أن العنقود المجري لا يوجد في حالة شاذة من التمدد أو الانهيار، تستطيع أن تحسب متوسط السرعة الذي ينبغي أن تتحرك المجرات به. كل ما تحتاج إليه هو حجم المجرة وتقدير تقريبي لكتلتها؛ فالكتلة — التي تعمل عبر المسافات التي يحددها حجم العنقود — تحدد مقدار السرعة التي ينبغي أن تتحرك بها المجرات كي تتجنب الوقوع في مركز العنقود أو الهرب بعيدًا عنه تمامًا.

وبعملية حسابية مشابهة — كما أوضح نيوتن — يمكنك حساب السرعة التي يتحرك بها كل كوكب في مداره حول الشمس، وذلك وفق بعده عنها. ليس في الأمر أي سحر، فهذه السرعات تتوافق مع ظروف الجاذبية التي يجد كل كوكب نفسه فيها. وإذا حدث أن اكتسبت الشمس كتلة أكبر، فسيتعيَّن على الأرض وغيرها من كواكب المجموعة الشمسية التحرك بسرعات أعلى للاستمرار في مداراتها الحالية. ولو تحركت الكواكب بسرعة أكبر من اللازم، فلن تكفي كتلة الشمس للحفاظ عليها في مداراتها. ولو كانت سرعة دوران الأرض في مدارها حول الشمس أكبر من الجذر التربيعي لضعف سرعتها الحالية، فسيصل كوكبنا إلى «سرعة الإفلات»، ومن ثم، كما خمنت، سيفلت من المجموعة

الشمسية. يمكن تطبيق المنطق عينه على أجرام أكبر حجمًا بكثير، على غرار مجرتنا نفسها، مجرة درب التبانة، التي تتحرك النجوم داخلها في مدارات تتوافق مع جاذبية كافة النجوم الأخرى، أو في العناقيد المجرية، التي تشعر فيها كل مجرة بجاذبية المجرات الأخرى. وكما قال أينشتاين ذات مرة (بكلمات أكثر بهاءً في اللغة الألمانية عن الترجمة الإنجليزية التي قام بها أحدنا [دونالد جولدسميث]) إجلالًا لإسحاق نيوتن:

فلنتطلع إلى النجوم لتعلمنا
كيف تصل إلينا أفكار أستاذنا
فكل واحدة منها تتبع رياضيات نيوتن
وتسير في مسارها بصمت

عند النظر إلى عنقود الهلبة، مثلما فعل زفيكي في ثلاثينيات القرن العشرين، سنجد أن المجرات التي يتكون منها تتحرك جميعها بسرعة أكبر من سرعة الإفلات الخاصة بها، وهذا فقط لو حسبنا هذه السرعة من خلال إضافة كتلة كل مجرة إلى الأخرى، وهو ما يمكن تقديره من مقدار سطوع المجرات. من واقع هذه الحسابات، من المفترض أن ينفرط عقد تلك المجرات، بما لا يترك سوى أثر مشتت بعد مرور بضع مئات من ملايين الأعوام، أو ربما مليار عام، على تكونه. لكن عمر هذا العنقود يتجاوز العشرة مليارات عام؛ أي ما يقارب عمر الكون ذاته. وهكذا ولد أكثر ألغاز علم الفلك استمرارًا إلى يومنا هذا.

خلال العقود التالية على عمل زفيكي كشفت عناقيد مجرية أخرى عن المشكلة نفسها. هذا يعني أنه لا يمكن اتهام عنقود الهلبة بأنه مختلف عن غيره. من الملوم إذن؟ نيوتن؟ كلا، فقد خضعت نظرياته للبحث والدراسة على مدار ٢٥٠ عامًا، واجتازت جميع الاختبارات. أينشتاين؟ كلا، فالجاذبية المهولة للعناقيد المجرية لا ترقى في الحجم للمستوى الذي يمكن تطبيق نظرية النسبية العامة لأينشتاين عليه، تلك النظرية التي وضعت قبل عقدين لا أكثر من اكتشاف زفيكي. ربما تكون «الكتلة المفقودة» المطلوبة لربط مجرات عنقود الهلبة بعضها ببعض موجودة بالفعل، لكن في صورة خفية غير معروفة. ولبعض الوقت أعاد الفلكيون تسمية مشكلة الكتلة المفقودة باسم «مشكلة الضوء المفقود»، بما أن الكتلة يستدل عليها من زيادة الجاذبية. واليوم، في ظل التحديد الأفضل لكتل العناقيد المجرية، يستخدم الفلكيون اسم «المادة المظلمة»، مع أن مصطلح «الجاذبية المظلمة» سيكون أدقَّ.

أطلَّت مشكلة المادة المظلمة برأسها الخفي مرة ثانية. ففي عام ١٩٧٦ اكتشفت فيرا روبين — الفيزيائية الفلكية بمعهد كارنيجي بواشنطن — «كتلة مفقودة» مشابهة، موجودة على نحو غير معتاد داخل المجرات الحلزونية نفسها. فمن واقع دراسة السرعات التي تدور بها النجوم حول مركز المجرة وجدت روبين ما توقعته: فضمن القرص المرئي لكل مجرة كانت النجوم الأبعد عن المركز تتحرك بسرعات أكبر من المجرات القريبة منه. إن النجوم الأبعد يوجد بينها وبين مركز المجرة قدر أكبر من المادة (على صورة نجوم أخرى وغازات)، وهو ما يستلزم تحركها بسرعات أعلى للحفاظ على مداراتها. ومع ذلك ففيما وراء القرص الساطع للمجرة، لا يزال بإمكاننا رؤية بعض السحب الغازية المنعزلة وعدد قليل من النجوم الساطعة. وقد اكتشفت روبين — باستخدام هذه الأجسام كمؤشرات لمجال الجاذبية «خارج» المجرة، حيث لم تعد المادة العادية تسهم في إجمالي الجاذبية — أن سرعاتها المدارية، التي ينبغي أن تنخفض مع ابتعادها أكثر في الفراغ، تظل في الواقع مرتفعة.

تحوي هذه المساحات الخاوية من الفضاء — النطاق المحيط بالمجرة — قدرًا قليلًا من المادة المرئية يعجز عن تفسير هذه السرعات المدارية العالية. وقد استنتجت روبين، صائبة، أن نوعًا ما من المادة المظلمة موجود في هذه المناطق النائية، ما وراء الحافة المرئية لكل مجرة حلزونية. وفي الواقع، تشكل المادة المظلمة نوعًا من الهالة المحيطة بالمجرة بأسرها.

توجد مشكلة الهالة هذه بالقرب منا، في مجرة درب التبانة عينها. ومن مجرة لأخرى، ومن عنقود مجري لآخر، يتراوح الفارق في الكتلة بين الأجرام المرئية والأجرام المظلمة ما بين ضعفين إلى ثلاثة أضعاف، وصولًا إلى مئات الأضعاف. وعلى مستوى الكون بأسره تصل النسبة إلى واحد إلى ستة؛ أي إن المادة المظلمة تفوق المادة المرئية في الكتلة بستة أضعاف.

وعلى مدار الأعوام الخمسة والعشرين المنصرمة كشف المزيد من الدراسات أن معظم المادة المظلمة لا يمكن أن يتكون من مادة عادية غير ساطعة وحسب. وهذا الاستنتاج يستند إلى نمطين من التفكير. أولًا: أن بمقدورنا استبعاد كل الأجسام العادية المشتبه أنها تؤلف المادة المظلمة. هل يمكن أن تكون المادة المظلمة على صورة ثقوب سوداء؟ كلا، فنحن نعتقد أننا سنكون قادرين على كشف هذا العدد الوفير من الثقوب السوداء من خلال تأثيرات جاذبيتها على النجوم القريبة. هل يمكن أن تكون سحبًا مظلمة؟ كلا،

وإلا لكانت امتصت الضوء القادم من النجوم الواقعة خلفها أو تفاعلت معه، وهذا لا تفعله المادة المظلمة. هل يمكن أن تتكون من كواكب وكويكبات ومذنبات توجد داخل النظم النجمية (أو المجرية) التي لا تنتج ضوءًا من تلقاء نفسها؟ من العسير تصديق أن الكون يحوي من الكواكب ما يفوق النجوم بستة أضعاف كتلتها، فهذا سيعني أن هناك ستة آلاف كوكب بحجم المشتري، أو مليوني كوكب بحجم الأرض، لكل نجم في المجرة. وفي مجموعتنا الشمسية على سبيل المثال، لا تتجاوز المادة بمختلف أشكالها ما يزيد عن ٠,٢ بالمائة من كتلة الشمس.

لهذا، حسب علمنا، لا تتكون المادة المظلمة من مادة عادية تصادف أنها مظلمة وحسب، بل تتكون من شيء آخر مختلف تمامًا. للمادة المظلمة قوة جاذبية تتبع القواعد عينها التي تتبعها المادة العادية، لكنها لا تفعل شيئًا آخر قد يمكننا من اكتشاف طبيعتها. بطبيعة الحال يؤدي عدم معرفتنا بماهية المادة المظلمة إلى جعل هذا التحليل قاصرًا. وصعوبة اكتشاف المادة المظلمة، المرتبطة على نحو وثيق بصعوبة إدراك ماهيتها، تثير السؤال: إذا كانت المادة كلها لها كتلة، وكل كتلة لها جاذبية، فهل كل الجاذبية لها مادة؟ لا نعرف الجواب. إن مسمى «المادة المظلمة» يفترض سلفًا وجود نوع من المادة لها جاذبية، وأننا لا نفهمها بعد. لكن ربما تكون الجاذبية هي المستعصية على الفهم.

لدراسة المادة المظلمة بما يتجاوز مجرد استنتاج وجودها، يسعى الفلكيون اليوم لمعرفة أماكن تجمع المادة في الفضاء. فإذا وجدت المادة المظلمة فقط على الحواف الخارجية للعناقيد المجرية، مثلًا، عندئذٍ لن تظهر سرعات المجرات أي دليل على مشكلة المادة المظلمة؛ لأن سرعات المجرات ومساراتها تستجيب فقط لمصادر الجاذبية الموجودة في المحيط الداخلي لمداراتها. وإذا شغلت المادة المظلمة مراكز العناقيد المجرية فقط، فسيتناسب عندئذٍ نطاق سرعات المجرات، كما هو مقاس من مركز العنقود إلى الحافة، مع المادة العادية فقط. لكن سرعات المجرات داخل العناقيد تكشف عن تغلغل المادة المظلمة في الحيز الذي تشغله المجرات المدارية بأسره. في الواقع، تتوافق أماكن وجود المادة العادية مع أماكن وجود المادة المظلمة على نحو كبير. منذ بضع سنوات أنتج فريق بقيادة الفيزيائي الفلكي الأمريكي جيه أنتوني تايسون، الذي كان يعمل وقتها في مختبرات بيل ويعمل الآن في جامعة كاليفورنيا بدافيس (والذي يناديه أحد المؤلفَيْن بـ «العم توني»، بالرغم من عدم وجود صلة قرابة بينهما)، أول خريطة تفصيلية لتوزيع جاذبية المادة المظلمة داخل وحول أحد العناقيد المجرية الهائلة. فكلما رأينا مجرات

كبيرة وجدنا أيضًا تركيزات عالية من المادة المظلمة داخل العنقود. والعكس صحيح أيضًا؛ فالمناطق الخالية من المجرات ليس بها سوى النزر اليسير من المادة المظلمة.

يتفاوت الفارق بين المادة المظلمة والمادة العادية بدرجة كبيرة من بيئة فيزيائية فلكية إلى أخرى، لكنه يصير على أوضح ما يكون في الكيانات الضخمة كالمجرات والعناقيد المجرية. أما مع الأجسام الأصغر، كالأقمار والكواكب، فلا يوجد هذا الفارق من الأساس. فالجاذبية على سطح الأرض، مثلًا، يمكن تفسيرها بالكامل من واقع كل ما هو موجود تحت قدميك؛ لذا إذا كنت بدينًا وأنت على كوكب الأرض فلا تلقِ باللوم على المادة المظلمة. ليس للمادة المظلمة أيضًا أي تأثير على مدار القمر حول الأرض، ولا على حركة الكواكب حول الشمس. لكننا نحتاجها لتفسير حركة النجوم حول مركز المجرة.

هل يعمل نوع مغاير من فيزياء الجاذبية على المستويات المجرية؟ في الغالب لا. الأرجح هو أن المادة المظلمة تتكون من مادة لم نتكهن بطبيعتها بعد، تتجمع على نحو أكثر توزيعًا مما هو الحال مع المادة العادية. وإلا كنا سنجد أن كل ستة أجزاء من المادة المظلمة يلتصق بها جزء من المادة العادية. وعلى حد علمنا لا تسير الأمور على هذا النحو.

يزعم الفيزيائيون الفلكيون أحيانًا — مخاطرين بإثارة إحباطنا — أن كل المادة التي عرفناها في الكون، المكونة للنجوم والكواكب والحياة، هي مجرد عوَّامات طافية في المحيط الكوني الشاسع المؤلف من مادة تشبه في شكلها العدم.

لكن ماذا لو كانت هذه النتيجة خاطئة بالكامل؟ فحين يعجز الفيزيائيون عن الإتيان بحل، من المفهوم، بل ويحق لهم في الواقع، أن يتشكَّكوا في قوانين الفيزياء الأساسية التي تقوم عليها الافتراضات التي وضعها غيرهم ممن يحاولون فهم الكون.

في أوائل الثمانينيات اقترح الفيزيائي الإسرائيلي موردخاي ميلجروم من معهد وايزمان للعلوم في ريحوفوت بإسرائيل، تعديلًا في قوانين نيوتن للجاذبية، وهي النظرية التي تعرف اليوم بديناميكا نيوتن المعدلة. رأى ميلجروم — المتقبل لفكرة أن ديناميكا نيوتن تعمل بنجاح في نطاق الأجسام الأصغر حجمًا من المجرات — أن نيوتن قد يكون بحاجة لبعض العون في وصف تأثيرات الجاذبية على مسافات وأحجام المجرات والعناقيد المجرية، التي تكون النجوم والعناقيد النجمية المنفردة الموجودة بداخلها بعيدة للغاية بعضها عن بعض بحيث لا تمارس سوى قدر يسير من تأثير الجاذبية بعضها على بعض. أضاف ميلجروم شرطًا إضافيًّا لمعادلة نيوتن، مصاغًا بصفة خاصة ليلائم الحياة

على الأبعاد الكونية الكبيرة. ومع أنه ابتكر ديناميكا نيوتن المعدلة كأداة حوسبية، فإنه لم يستبعد إمكانية استخدام نظريته للإشارة إلى ظاهرة جديدة للطبيعة.

لم تحظ ديناميكا نيوتن المعدلة إلا بنجاح بسيط. بمقدور النظرية تفسير حركة الأجسام المنفردة في النطاقات البعيدة للعديد من المجرات الحلزونية، بيد أنها تثير من الأسئلة أكثر مما تقدم من إجابات. فالنظرية تفشل في التنبؤ بشكل موثوق به بحركة التكوينات الأكثر تعقيدًا، على غرار حركة المجرات في الأنظمة الثنائية والمتعددة. إضافة إلى ذلك مكنت الخريطة التفصيلية لإشعاع الخلفية الكوني التي أنتجها المسبار WMAP عام ٢٠٠٣ علماء الفلك من عزل تأثير المادة المظلمة وقياس هذا التأثير في مرحلة الكون المبكر. وبسبب توافق هذه النتائج مع النموذج المتسق للكون المبني على نظريات الجاذبية التقليدية، فقدت النظرية العديد من مؤيديها.

إبان النصف مليون عام الأول بعد الانفجار العظيم، وهو ما يمثل لحظة عابرة من تاريخ الكون البالغ نحو ١٤ مليار عام، كانت المادة الموجودة في الكون قد بدأت في التجمع في نقاط من شأنها أن تصير لاحقًا عناقيد وعناقيد فائقة من المجرات. لكن الكون كان يتمدد طوال الوقت، وسيتضاعف حجمه في غضون النصف مليون عام التالية. هكذا كان على الكون الاستجابة لتأثيرين متعارضين: الجاذبية التي تريد تكثيف المادة، والتمدد الذي يريد تخفيفها. إذا أجريت حساباتك، سرعان ما تستنتج أن جاذبية المادة العادية لم تكن لتفوز بهذه المعركة وحدها. لقد احتاجت لمعاونة المادة المظلمة، التي لولاها لكنا سنعيش — أو بالأحرى لن نعيش — في كون ليس به أي بُنى أو عناقيد مجرية أو مجرات أو نجوم أو كواكب أو حتى بشر. ما مقدار الجاذبية الإضافي الذي احتاجه الأمر؟ ستة أضعاف مقدار الجاذبية التي تقدمها المادة العادية. هذا التحليل لا يترك أي مجال للشروط التصحيحية الصغيرة التي تضيفها ديناميكا نيوتن المعدلة إلى قوانين نيوتن. ولا يخبرنا هذا التحليل بماهية المادة المظلمة، بل هو فقط يؤكد على أن تأثيرات المادة المظلمة حقيقية، وأنك لن تستطيع، مهما حاولت، عزو تلك التأثيرات للمادة العادية.

تلعب المادة المظلمة دورًا حيويًّا آخر في الكون. لفهم كل ما فعلته المادة المظلمة من أجلنا علينا الرجوع بالزمن حتى دقيقتين بعد الانفجار العظيم، حين كان الكون شديد الحرارة والكثافة، حتى إن أنوية الهيدروجين (البروتونات) كان بإمكانها الاندماج معًا. هذه البوتقة الكونية المبكرة حولت الهيدروجين إلى هيليوم، إلى جانب نسب ضئيلة من

الليثيوم، وكمية أقل من هذا من الديوتيريوم، وهو نسخة أثقل من نواة الهيدروجين بها نيوترون إلى جانب البروتون. هذا المزيج من الأنوية يمثل بصمة كونية خاصة للانفجار العظيم، أثر باقٍ يمكننا من إعادة تمثيل ما حدث حين كان عمر الكون لا يتجاوز بضع دقائق. كان العامل المحرك وراء تكوين هذه البصمة هو القوة النووية القوية — القوة التي تربط بين البروتونات والنيوترونات داخل النواة — وليست الجاذبية، فقوة الجاذبية ضعيفة، حتى إنها لا تصير مؤثرة إلا حين تتجمع تريليونات الجسيمات معًا.

حينما انخفضت درجة الحرارة لما دون عتبة الاندماج النووي، كان قد نتج عن هذا الاندماج نواة هيليوم واحدة مقابل كل عشر أنوية هيدروجين في الكون بأسره. كما تحوَّل جزء واحد تقريبًا في الألف من المادة العادية إلى أنوية ليثيوم، وجزآن من كل مائة ألف إلى الديوتيريوم. إذا لم تكن المادة المظلمة مكونة من مادة لا تتفاعل مع المادة العادية، وكانت بدلًا من ذلك مكونة من مادة عادية داكنة وحسب، مادة يمكنها الاندماج، فسيزيد حجمها — الذي يفوق حجم المادة العادية بستة أضعاف داخل الحجم المحدود للكون — بدرجة كبيرة من معدل اندماج أنوية الهيدروجين. وستكون النتيجة وقتها زيادة كبيرة ملحوظة في إنتاج الهيليوم، بالمقارنة بالكمية المرصودة بالفعل، ومن ثم مولد كون مختلف اختلافًا كبيرًا عن الكون الذي نعيش فيه.

نواة الهيليوم قاسية للغاية، فمع سهولة تكوينها فإن دمجها مع أنوية أخرى صعب للغاية. ولأن النجوم استمرت في إنتاج الهيليوم من الهيدروجين في قلوبها، وفي الوقت ذاته استمرت في تدمير كميات بسيطة نسبيًّا من الهيليوم من خلال عمليات اندماج نووي أكثر تقدمًا، فإننا نتوقع أن أقل الأماكن احتواءً على الهيليوم في الكون لن تحوي هيليوم أقل مما أنتجه الكون في الدقائق القليلة الأولى من عمره. وبلا شك فالمجرات التي عالجت نجومها المكونات الخام بالحد الأدنى تُبين أن عُشر ذراتها ذرات هيليوم، وهو ما توقعناه في بداية الكون عقب الانفجار العظيم، ما دامت المادة المظلمة الموجودة وقتها لم تشارك في الاندماج النووي الذي أنتج هذه الأنوية.

المادة المظلمة إذن صديقة لنا. لكن من المفهوم أن يشعر الفيزيائيون الفلكيون بعدم الراحة كلما بنوا حساباتهم على مفاهيم لا يفهمونها، حتى حين لا تكون هذه هي المرة الأولى التي يفعلون فيها هذا. فقد قاس الفيزيائيون الفلكيون محصلة الطاقة الناتجة عن الشمس، مثلًا، قبل أن يعرف أحد أن المسئول عنها هو تفاعل الاندماج النووي.

ففي القرن التاسع عشر، قبل ظهور ميكانيكا الكم واكتشاف الأفكار العميقة الأخرى عن سلوك المادة على أصغر المستويات، لم يكن الاندماج النووي موجودًا حتى كمفهوم مجرد.

قد يشبه المتشككون المتشبثون برأيهم المادة المظلمة اليوم بمادة «الأثير» الافتراضية التي ثبت عدم وجودها، والتي اقْتُرِحَ وجودها منذ قرون خلت بوصفها وسطًا شفافًا عديم الوزن يتحرك الضوء عبره. فقد افترض الفيزيائيون لسنوات عديدة أن الأثير له وجود، بالرغم من عدم وجود أي دليل يدعم هذا الافتراض، إلى أن ثبت خطؤه من خلال التجربة الشهيرة التي أجراها في كليفلاند عام ١٨٨٧ كل من ألبرت ميكلسون وإدوارد مورلي. كان الفيزيائيون يعتقدون أن الضوء، بسبب طبيعته الموجية، يحتاج إلى وسط يتحرك خلاله، مثلما تنتقل موجات الصوت عبر الهواء، لكن ثبت أن الضوء ينتقل دون أدنى مشكلة عبر الفضاء، دون أي وسط. فموجات الضوء تنشر نفسها بنفسها، على عكس موجات الصوت التي تتكون من اهتزازات في الهواء.

لكن الجهل بالمادة المظلمة يختلف عن الجهل بالأثير؛ ففي حين يمثل الأثير رمزًا لفهمنا المنقوص، فإن وجود المادة المظلمة ليس محض افتراض، بل يُستدل عليه من خلال تأثيرات الجاذبية المرصودة على المادة المرئية. إننا لا نختلق وجود هذه المادة من لا شيء، بل على العكس نحن نستنتج وجودها من حقائق مرصودة مُشاهدة. إن المادة المظلمة حقيقة واقعة، مثلها مثل المائة ونيف كوكب التي اكتُشف أنها تدور حول نجوم أخرى خلاف شمسنا، وجميعها تقريبًا وُجِدَت بفضل تأثيرات الجاذبية التي تمارسها على النجوم التي تدور حولها. أسوأ ما قد يحدث هو أن يكتشف الفيزيائيون (أو آخرون من ذوي الفكر العميق) أن المادة المظلمة لا تتكون من مادة من الأساس، بل من شيء آخر، دون أن يستطيعوا الدفاع عن حجتهم هذه. هل يمكن أن تكون المادة المظلمة مجرد تجسيد لقوى آتية من أبعاد أخرى؟ أو من كون موازٍ يتفاعل مع كوننا؟ حتى لو صح هذا فلن يغير أي من هذا من الدور الناجح الذي تلعبه جاذبية المادة المظلمة في المعادلات التي نستخدمها لفهم تكون الكون وتطوره.

قد يصرح متشكك آخر متشبث برأيه قائلًا: «الرؤية خير برهان.» قد يصلح هذا المنهج في العديد من مناحي الحياة، على غرار الهندسة الميكانيكية وصيد السمك وربما المواعدة، كما قد يناسب سكان ولاية ميزوري، لكنه لن يصلح كممارسة علمية سليمة. فالبراهين لا تأتي من الرؤية فقط. فالعلم قائم على القياس، الذي يفضل أن يتم من

خلال وسيلة أخرى خلاف العينين، اللتين قد تتأثران بعوامل عقلية أخرى؛ كالأفكار المسبقة والأفكار لاحقة التكون والتخيل غير المتحقق من صحته بواسطة الاستناد لبيانات أخرى والتحيز المسبق.

أصبحت المادة المظلمة، باستعصائها على الاكتشاف المباشر لثلاثة أرباع القرن على الأرض، بمنزلة اختبار رورشاخ للمنقبين عنها. يقول بعض فيزيائيي الجسيمات: إن المادة المظلمة لا بد أن تتكون من طبقة شبحية من الجسيمات غير المكتشفة بعد تتفاعل مع المادة من خلال الجاذبية، لكنها تتفاعل بضعف مع المادة العادية أو الضوء أو لا تتفاعل معهما على الإطلاق. يبدو هذا افتراضًا جامحًا، لكن هذا الاقتراح له سوابقه. فمن المعروف مثلًا أن النيوترينوات موجودة، مع أنها تتفاعل بضعف شديد مع الضوء والمادة العاديين. إن النيوترينوات الآتية من الشمس — التي تُنتَج بمعدل اثنين من النيوترينوات لكل نواة هيليوم تتكون في قلب الشمس — تسافر عبر الفضاء الفارغ بسرعة تقارب سرعة الضوء، لكنها تمر عبر الأرض كما لو أنها غير موجودة. الحساب الإجمالي: يمر مائة مليار نيوترينو بكل بوصة مربعة من جسدك في الثانية الواحدة.

لكن بالإمكان توقيف النيوترينوات. فعلى أحيان متباعدة للغاية تتفاعل مع المادة العادية من خلال القوة النووية الضعيفة. وإذا تمكنت من توقيف جسيم ما فبالإمكان تبين طبيعته. قارن سلوك النيوترينوات المراوغة بسلوك الرجل الخفي (في مراحل اختفائه عن العين)، الذي يمكن أن يكون مرشحًا لدور المادة المظلمة كغيره من الأشياء. إن بمقدوره السير عبر الجدران والأبواب كما لو أنها غير موجودة. لكن مع امتلاكه لهذه القدرات، لمَ لا يسقط من أرضية الغرفة إلى القبو؟

إذا تمكنَّا من تطوير أدوات كشف حساسة بما يكفي، فقد تكشف جسيمات المادة المظلمة التي يفترض وجودها فيزيائيو الجسيمات عن نفسها من خلال تفاعلات مألوفة. أو ربما تكشف عن وجودها من خلال قوى خلاف القوة النووية القوية والقوة النووية الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية. هذه القوى الثلاث (إلى جانب الجاذبية) هي الوسيط الذي تجري من خلاله التفاعلات بين كافة أنواع الجسيمات المعروفة. هكذا تكون الخيارات واضحة: فإما يكون على جسيمات المادة المظلمة الانتظار حتى نكتشف ونتحكم في قوة أو طبقة جديدة من القوى تتفاعل بواسطتها هذه الجسيمات، أو أن جسيمات المادة المظلمة تتفاعل مع القوى العادية، لكن بدرجة بالغة الضعف.

لا يرى المؤمنون بديناميكا نيوتن المعدلة أي جسيمات غريبة في اختبارات رورشاخ الخاصة بهم. فهم يرون أن الجاذبية، وليس الجسيمات، هي ما تحتاج للتعديل. ولهذا

السبب قدموا لنا ديناميكا نيوتن المعدلة، وهي محاولة جريئة يبدو أنها فشلت، لكنها مع ذلك تعد بداية محاولات أخرى لتغيير منظورنا للجاذبية بدلًا من تغيير أعداد الجسيمات دون الذرية.

يسعى فيزيائيون آخرون وراء ما يسمونه «نظريات كل شيء». في واحدة من هذه النظريات يقع كوننا بالقرب من كون آخر موازٍ، يتفاعل معه من خلال الجاذبية فقط. لن تقابل أي مادة من هذا الكون الموازي، لكنك ستشعر بتأثيره الممتد عبر الأبعاد المكانية لكوننا. تخيل أنه يوجد كون شبحي ملاصق لكوننا، وأنه لا يكشف عن نفسه إلا من خلال قوة الجاذبية. تبدو الفكرة مثيرة ومستعصية على التصديق، لكنها ربما ليست أكثر غرابة من الظهور الأول لفكرة أن الأرض تدور حول الشمس، أو أن مجرتنا ليست المجرة الوحيدة في الكون.

إذن، تأثيرات المادة المظلمة حقيقية. نحن فقط لا نعرف ماهية هذه المادة. يبدو لنا أنها لا تتفاعل من خلال القوة النووية القوية، لهذا هي عاجزة عن تكوين الأنوية. كما لا نجدها تتفاعل من خلال القوة النووية الضعيفة، وهو ما تفعله حتى النيوترينوات المراوغة. ويبدو أنها لا تتفاعل مع القوة الكهرومغناطيسية؛ لذا فهي لا تكون جسيمات، أو تمتص الضوء أو تطلقه أو تعكسه أو تشتته. بيد أنها تمارس قوة الجاذبية على نحو تستجيب له المادة العادية. هذا كل ما في الأمر. وبعد كل هذه السنوات من البحث والتقصي، لم يتمكن الفيزيائيون الفلكيون من اكتشاف أي تأثير آخر لها.

أوضحت الخرائط التفصيلية لإشعاع الخلفية الكوني أن المادة المظلمة لا بد أنها وجدت في أول ٣٨٠ ألف عام من عمر الكون. نحن أيضًا نحتاج المادة المظلمة اليوم في مجرتنا وعنقودنا المجري لتفسير حركة الأجرام داخله. لكن على حد علمنا لم يتسبب هذا الجهل في إعاقة مسيرة الفيزيائيين الفلكيين أو الفت في عضدهم. إننا نتقبل وجود المادة المظلمة كصديق غريب الأطوار، ونستجديها العون وقتما وأينما احتاج الكون منا ذلك.

في المستقبل القريب، كما نأمل، سيتواصل المرح مع معرفتنا بكيفية سبر أغوار المادة المظلمة، وذلك فور معرفتنا لما تتألف منه هذه المادة. تخيل وجود ألعاب، سيارات تمر بعضها من بعض، أو طائرات تسلل شبحية فائقة. إن تاريخ الاكتشافات الغريبة والبلهاء في العلم غني بأمثلة لأشخاص ماهرين جاءوا في وقت لاحق وتوصلوا إلى استغلال مثل هذه الاكتشافات والمعارف على نحو يفيدهم ويفيد الحياة على الأرض.

الفصل الخامس

ليكن مزيد من الظلام

للكون الذي نعرفه الآن جانب مضيء وآخر مظلم. يضم الجانب المضيء كل الأجرام السماوية المألوفة؛ كالنجوم، التي تتجمع بالمليارات في مجرات، إضافة إلى الكواكب وغيرها من الحطام الكوني الأصغر الذي قد لا ينتج ضوءًا مرئيًّا، لكنه يطلق أنواعًا من الإشعاع الكهرومغناطيسي، كالأشعة تحت الحمراء أو موجات الراديو.

وقد اكتشفنا أن الجانب المظلم من الكون يضم المادة المظلمة المحيرة، التي لا يمكن اكتشافها إلا من واقع تأثير الجاذبية الذي تمارسه على المادة العادية، وخلاف ذلك يظل شكلها وتكوينها أمرًا مجهولًا بالكامل. قد يكون قدر يسير من هذه المادة مجرد مادة عادية تظل غير مرئية لأنها لا تنتج أي إشعاع يمكن اكتشافه. لكن كما أوضحنا في الفصل السابق، أغلب المادة المظلمة يتألف بالتأكيد من مادة أخرى مختلفة عن المادة العادية لا تزال طبيعتها تستعصي على الفهم، باستثناء قوة الجاذبية التي تمارسها على المادة العادية.

خلاف كل القضايا المتعلقة بالمادة المظلمة، للجانب المظلم من الكون وجه آخر مختلف تمامًا. وجه ليس له علاقة بالمادة من أي نوع، بل يرتبط بالفضاء نفسه. ونحن ندين بفضل معرفة هذا المفهوم، إضافة إلى النتائج المذهلة التي ينطوي عليها، إلى مؤسس علم الكونيات الحديث، أينشتاين ذاته.

منذ تسعين عامًا، بينما كانت المدافع الآلية المطورة حديثًا تحصد أرواح آلاف الجنود في الحرب العالمية الأولى على بعد بضع مئات من الأميال إلى الغرب، كان أينشتاين يجلس في مكتبه في برلين، يتدبر حال الكون. مع بداية الحرب مرر أينشتاين وزميل له عريضة مناهضة للحرب بين أقرانهما، ونجحا في الظفر بتوقيعين إضافيين إلى جانب توقيعيهما. تسبب ذلك العمل في نبذه من جانب زملائه العلماء — الذين وقع أغلبهم على التماس

يدعو لمؤازرة جهود ألمانيا في الحرب — كما تسبب في تدمير الحياة المهنية لمن وافقوه. لكن شخصية أينشتاين الجذابة وشهرته العلمية مكنته من الاحتفاظ بتقدير أقرانه. وقد واصل جهوده من أجل اكتشاف المعادلات التي تصف الكون بدقة.

وقبل نهاية الحرب حقق أينشتاين النجاح؛ أعظم نجاحاته على الأرجح. ففي نوفمبر من عام ١٩١٥ أخرج لنا نظرية النسبية العامة، التي تصف كيفية تفاعل الفضاء مع المادة؛ إذ تحدد المادة للفضاء كيف يتقوس، بينما يحدد الفضاء للمادة كيف تتحرك. لقد نظر أينشتاين للجاذبية بوصفها تقوسًا موضعيًّا في نسيج الفضاء، وبهذا غير فكرة إسحاق نيوتن الغامضة عن «القوة عن بعد». فالشمس، على سبيل المثال، تخلق ما يشبه النقرة، متسببة في تقوس الفضاء بشكل ملحوظ على المسافات القريبة منها. ويبدو أن الكواكب تتدحرج في اتجاه هذه النقرة، لكن قصورها الذاتي يمنعها من السقوط فيها. وبدلًا من ذلك تتحرك الكواكب حول الشمس في مدارات تجعلها تحافظ على المسافة بينها وبين تلك النقرة في الفضاء. وفي غضون أسابيع قليلة على نشر أينشتاين لنظريته تلك استخدم الفيزيائي كارل شفارتزشيلد — بعد أن نأى بنفسه عن أهوال الحياة في الجيش الألماني، التي تسببت في إصابته بمرض قاتل أودى بحياته بعد وقت قليل — مفهوم أينشتاين ليبين أن الجسم ذا الجاذبية القوية بما يكفي سيخلق «نقطة تفرد» في الفضاء. في نقطة التفرد هذه يتقوس الفضاء بالكامل حول الجسم ويمنع أي شيء، بما في ذلك الضوء، من الهرب من محيطه المباشر. ونحن نطلق على هذه الأجسام الآن الثقوب السوداء.

توصل أينشتاين من خلال نظرية النسبية العامة إلى المعادلة التي كان يسعى إليها، تلك التي تربط بين محتويات الفضاء وسلوكه العام. لقد شارف أينشتاين، من خلال دراسة هذه المعادلة في مكتبه وإنتاج نماذج للكون في عقله، على الوصول إلى حقيقة تمدد الكون، قبل أكثر من عشر سنوات على تأكيد مشاهدات إدوين هابل لهذه الحقيقة.

تتنبأ معادلة أينشتاين الأساسية بأنه في الكون الذي تتوزع فيه المادة بشكل متساوٍ تقريبًا، لا يمكن أن يكون الفضاء «ساكنًا». فالكون لا يمكن أن «يستقر في سكون»، كما يؤكد حدسنا، وكما تؤكد كافة المشاهدات الفلكية حتى ذلك الوقت. بدلًا من ذلك، لا بد أن الفضاء إجمالًا إما يتمدد أو ينكمش باستمرار؛ فالفضاء لا بد أن يكون أشبه بسطح البالون الذي يمتلئ بالهواء أو يفرغ منه، لكن من المحال أن يكون أشبه بسطح بالون ذي حجم ثابت.

أقلق هذا أينشتاين. فمن ناحية شعر هذا المنظِّر الجريء، الذي لم يكن يثق بالسلطة ولم يتردد قط في معارضة أفكار الفيزياء التقليدية، بأنه تمادى في استنتاجاته هذه المرة. فلم تكن هناك أي مشاهدات فلكية توحي بأن الكون يتمدد؛ لأن علماء الفلك لم يوثقوا إلا حركة النجوم القريبة ولم يحددوا المسافات البعيدة التي تفصلنا عما نسميها الآن بالمجرات. وبدلًا من أن يعلن أينشتاين على العالم أن الكون إما يتمدد أو ينكمش، عاد إلى معادلاته، باحثًا عن سبيل لتثبيت الكون.

وسرعان ما وجد مبتغاه. كانت معادلة أينشتاين الأساسية تسمح بإضافة قيمة ثابتة، لكن مجهولة، تمثل مقدار الطاقة التي يحتوي عليها كل سنتيمتر مكعب من الفضاء الخاوي. ولأن شيئًا لم يُوحِ بأن هذا المعامل الثابت يجب أن يحمل قيمة ما، وضع أينشتاين له في البداية قيمة قدرها صفر. نشر أينشتاين بعد ذلك مقالًا علميًّا ليبين أنه لو كان هذا المعامل الثابت، الذي أسماه علماء الكونيات لاحقًا باسم «الثابت الكوني»، يحمل قيمة معينة، من الممكن أن يكون الفضاء ساكنًا. عندئذٍ لن تتعارض النظرية مع المشاهدات المأخوذة للكون، ويصير بمقدور أينشتاين أن يعتبر معادلته صحيحة.

واجه حل أينشتاين صعوبات كبيرة. ففي عام ١٩٢٢ أثبت عالم الرياضيات الروسي ألكساندر فريدمان، أن كون أينشتاين الساكن غير مستقر، كالقلم الواقف على سنِّه، وأن أي اهتزاز أو اضطراب من شأنه التسبب في جعل الفضاء إما يتمدد أو ينكمش. في البداية أعلن أينشتاين أن فريدمان مخطئ، لكن بعد ذلك، في بادرة كريمة ليست بالغريبة عليه، نشر مقالًا تراجع فيه عن موقفه هذا وأعلن فيه أن فريدمان هو المصيب. مع نهاية العقد الثالث من القرن العشرين سُر أينشتاين لسماعه عن اكتشاف هابل لتمدد الكون. وحسب ما جاء في مذكرات جورج جاموف، فقد أقر أينشتاين بأن الثابت الكوني كان «أكبر زلاته». وباستثناء قلة من علماء الكونيات الذين استمروا في تعيين قيمة غير صفرية للثابت الكوني (بقيمة مغايرة لتلك التي استخدمها أينشتاين) لتفسير بعض المشاهدات المربكة التي ثبت في وقت لاحق خطأ أغلبها، تنهد العلماء في شتى أنحاء العالم في ارتياح لإثبات أن الفضاء لم يعد بحاجة لهذا الثابت.

لكنهم كانوا مخطئين. فالقصة الكونية العظيمة التي ظهرت في نهاية القرن العشرين؛ المفاجأة التي قلبت علم الكونيات رأسًا على عقب، تمثلت في ذلك الاكتشاف المذهل، الذي أعلن عنه لأول مرة عام ١٩٩٨، بأن الكون له بالفعل ثابت كوني يحمل قيمة غير صفرية. إن الفضاء الخاوي يحتوي بالفعل على طاقة، تسمى «الطاقة المظلمة»، تملك سمات غير عادية بالمرة من شأنها أن تحدد مستقبل الكون بأسره.

لفهم هذه التوكيدات المثيرة، وربما حتى تصديقها، علينا تتبع الأفكار الأساسية في فكر علماء الكونيات خلال السبعين عامًا التي أعقبت اكتشاف هابل لتمدد الكون. تسمح معادلة أينشتاين الأساسية بإمكانية تقوس الفضاء، وهو التقوس المحدد رياضيًّا على أنه إما تقوس موجب أو صفري أو سالب. التقوس الصفري يصف «فضاءً مسطحًا»، وهي الصورة التي تصر أذهاننا على أنها الصورة الوحيدة الممكنة، والتي فيها يمتد الفضاء في جميع الاتجاهات إلى ما لا نهاية، كسطح سبورة سوداء لا نهاية لها. وعلى النقيض من ذلك، فالفضاء ذو التقوس الموجب يشبه سطح الكرة، سطح ثنائي الأبعاد لا يمكن رؤية تقوسه إلا باستخدام البعد الثالث. لاحظ أن مركز الكرة، النقطة التي تبدو ثابتة بينما يتمدد السطح ثنائي الأبعاد أو ينكمش، يقع في هذا البعد الثالث ولا يظهر قط على السطح الذي يمثل الفضاء كله.

وكما أن لكل الأسطح ذات التقوس الموجب مساحة محدودة، فللفضاء ذي التقوس الموجب مساحة محدودة. فمن سمات الكون ذي التقوس الموجب أنك لو تحركت من كوكب الأرض في أي اتجاه لوقت كافٍ، فسينتهي بك الحال بالعودة للنقطة التي انطلقت منها، تمامًا مثل ماجلان الذي دار بسفينته حول كوكب الأرض. أما الفضاء ذو التقوس السالب — على العكس من الفضاء ذي التقوس الموجب — فيمتد بلا نهاية، مع أنه ليس مسطحًا. فالسطح ثنائي الأبعاد ذو التقوس السالب يشبه سطح سرج فرس كبير لا نهاية لها، وهو يتقوس «لأعلى» في أحد الاتجاهين (من الأمام للخلف) و«لأسفل» في الآخر (من الجانب للجانب).

إذا كان الثابت الكوني يساوي صفرًا، يمكننا وصف السمات الكلية للكون من خلال رقمين فحسب. أحد هذين الرقمين، والمسمى بثابت هابل، يقيس المعدل الذي يتمدد الكون به الآن. أما الرقم الثاني فيقيس مدى تقوس الفضاء. خلال النصف الثاني من القرن العشرين آمن كل علماء الكونيات تقريبًا بأن الثابت الكوني يساوي صفرًا، وجعلوا من قياس معدل التمدد الكوني وتقوس الفضاء هدفهم البحثي الرئيسي.

يمكن التوصل لهذين الرقمين من القياس الدقيق للسرعات التي تبتعد بها الأجسام التي تقع على مسافات متباينة عنا. فالنزعة الإجمالية لعلاقة المسافة بالسرعة — المعدل الذي تتزايد به سرعة ابتعاد المجرات عنا مع زيادة بعدها عنا — تعطينا ثابت هابل، بينما الانحرافات الصغيرة عن هذه النزعة، التي تظهر فقط حين نرصد الأجسام على

مسافات بعيدة للغاية عنا، تكشف عن تقوس الفضاء. فكلما نظر علماء الفلك إلى أجرام تبعد عن مجرة درب التبانة بمليارات عديدة من السنوات الضوئية، نظروا في الواقع إلى الماضي، بحيث يرون الكون ليس على ما هو عليه الآن، بل كما كان عليه بعد انقضاء وقت أقل بكثير على الانفجار العظيم. إن رصد المجرات التي تقع على بعد خمسة مليارات سنة ضوئية أو أكثر من مجرة درب التبانة يمكن علماء الكونيات من إعادة بناء جزء كبير من تاريخ الكون المتمدد. وعلى وجه الخصوص بإمكانهم رؤية كيف تغير معدل التمدد مع مرور الوقت، وهو مفتاح تعيين مقدار تقوس الفضاء. ينجح هذا الأسلوب، على الأقل من حيث المبدأ؛ لأن مقدار تقوس الفضاء يُحدث بعض الفروق البسيطة في المعدل الذي تغير به التمدد الكوني على مدار مليارات الأعوام الماضية.

من الناحية العملية، ظل الفيزيائيون الفلكيون عاجزين عن تنفيذ هذا البرنامج، وذلك لعدم امتلاكهم تقديرات يُعتمد عليها بما يكفي للمسافات بيننا وبين العناقيد المجرية التي تبعد عن كوكبنا مليارات السنوات الضوئية. لكن كان لديهم سهم آخر في جعبتهم. فإذا استطاعوا قياس متوسط كثافة كل المادة الموجودة في الكون — بمعنى متوسط عدد جرامات المادة في كل سنتيمتر مكعب من الفضاء — فسيستطيعون مقارنة هذا الرقم بـ «الكثافة الحرجة»، وهي القيمة التي تتنبأ بها معادلات أينشتاين التي تصف الكون المتمدد. تحدد الكثافة الحرجة مقدار الكثافة الدقيق الذي ينبغي أن يكون عليه الكون إذا كان الفضاء صفري التقوس. إذا كانت الكثافة الفعلية أعلى من هذه القيمة، يكون للكون تقوس موجب. في هذه الحالة، بافتراض أن الثابت الكوني يساوي صفرًا، سيتوقف الكون عن التمدد في نهاية المطاف ويبدأ في الانكماش. أما لو كانت الكثافة الفعلية تساوي الكثافة الحرجة، أو كانت أقل منها، فهذا يعني أن الكون سيتمدد إلى الأبد. إن التساوي التام بين القيمتين الفعلية والحرجة للكثافة يحدث في الكون ذي التقوس الصفري، بينما في الكون ذي التقوس السالب تكون الكثافة الفعلية أقل من الكثافة الحرجة.

بحلول منتصف التسعينيات عرف علماء الكونيات أنه حتى بعد إدراج كل مقدار المادة المظلمة التي اكتشفوها (من خلال تأثير الجاذبية على المادة المرئية)، فسيصل إجمالي الكثافة الكلية للمادة في الكون إلى حوالي ربع الكثافة الحرجة. لا تبدو هذه النتيجة صادمة، مع أنها تعني أن الكون لن يتوقف قط عن التمدد، وأن الفضاء الذي نعيش فيه كلنا سالب التقوس. بيد أن هذا سبب الكثير من الألم لعلماء الكونيات الميالون للجانب النظري؛ لأنهم كانوا مؤمنين بأن الفضاء صفري التقوس.

استند هذا الإيمان إلى «نموذج التضخم» للكون، الذي حصل على هذه التسمية (على نحو لا يدعو للدهشة) في وقت ارتفعت فيه نفقات المعيشة بشكل حاد. ففي عام ١٩٧٩، افترض آلان جوث، الفيزيائي العامل في مركز ستانفورد للتسارع الخطِّي بكاليفورنيا، أنه خلال اللحظات المبكرة من عمر الكون تمدد الكون بمعدل سريع لا يمكن تصوره؛ سريع حتى إن الأجزاء المختلفة من المادة ابتعدت بسرعة شديدة بعضها عن بعض، بحيث وصلت إلى سرعات تفوق سرعة الضوء بمراحل. لكن ألا تجعل نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين من سرعة الضوء حد السرعة الكوني الأقصى لكل الأجسام المتحركة؟ ليس تمامًا. إن حد أينشتاين لا ينطبق إلا على الأجسام التي تتحرك داخل الفضاء، وليس على تمدد الفضاء نفسه. وخلال «فترة التضخم»، التي استمرت فقط من حوالي ١٠$^{-٣٧}$ ثانية إلى ١٠$^{-٣٤}$ ثانية بعد الانفجار العظيم، تمدد الكون بمعدل وصل إلى ١٠^{٥٠}.

ما الذي سبب هذا التمدد الكوني المهول؟ خمن جوث أن الفضاء بأكمله خضع لما يسمى بـ «التحول الطوري»، وهو أمر شبيه بما يحدث حين يتجمد الماء سريعًا إلى ثلج. وبعد بعض التنقيح الجوهري على يد زملائه في الاتحاد السوفييتي والمملكة المتحدة والولايات المتحدة، صارت فكرة جوث جذابة حتى إنها هيمنت على مدار عقدين من الزمان على النماذج النظرية الخاصة بالكون المبكر للغاية.

ما الذي يجعل نظرية التضخم تتمتع بمثل هذه الجاذبية الكبيرة؟ تفسر لنا فترة التضخم لماذا يبدو الكون، في خصائصه العامة، متماثلًا في أي اتجاه ننظر نحوه: فكل شيء يمكننا رؤيته (وأكثر منه بكثير) تضخم من منطقة وحيدة للفضاء، وتحولت سماته الخاصة إلى سمات كونية. كما توجد مميزات أخرى، لا داعي لأن نشغل أنفسنا بالحديث عنها هنا، تعزز موقف النظرية، على الأقل في أوساط من يصنعون نماذج كونية في عقولهم. لكن هناك سمة محددة تستحق التأكيد عليها هنا، وهي التنبؤ القابل للاختبار؛ فالفضاء في الكون ينبغي أن يكون مسطحًا، وليس مقوسًا، لا بالإيجاب ولا بالسلب، بل مسطح كما ينبئنا حدسنا.

وفق هذه النظرية فإن تسطح الفضاء ينبع من عملية التمدد المهولة التي حدثت أثناء فترة التضخم. تخيل نفسك، مثلًا، واقفًا على سطح بالون، ثم دع هذا البالون يتمدد بنسبة مهولة لدرجة تعجز معها عن تحديدها. بعد انتهاء فترة التمدد هذه سيكون جزء البالون الذي تستطيع رؤيته مسطحًا كالفطيرة. ينطبق الأمر عينه على كل الفضاء الذي يمكن أن نأمل يومًا في قياسه؛ هذا لو كان نموذج التضخم يصف الكون الحقيقي فعلًا.

لكن الكثافة الكلية للمادة تصل فقط إلى حوالي ربع المقدار المطلوب لجعل الفضاء مسطحًا. خلال الثمانينيات والتسعينيات آمن العديد من علماء الكونيات الميالين للتنظير بأنه نظرًا لأن نموذج التضخم من المؤكد صحته، فسوف تظهر بيانات جديدة من شأنها أن تغلق «فجوة الكتلة» الكونية هذه؛ أي الفارق بين إجمالي كثافة المادة، التي تشير لوجود كون ذي تقوس سالب، والكثافة الحرجة، التي نحتاج إليها للوصول إلى كون ذي فضاء مسطح. شد هذا الإيمان من أزرهم لفترة من الوقت، حتى حين سخر علماء الكونيات الميالين للاعتماد على المشاهدات التجريبية من اعتمادهم المبالغ فيه على التحليلات النظرية. ثم توقفت السخرية.

في عام ١٩٩٨ أعلن فريقان متنافسان من علماء الفلك عن مشاهدات جديدة تشير إلى وجود ثابت كوني غير صفري؛ ليس (بالطبع) بالقيمة نفسها التي وضعها أينشتاين كي يبقى الكون ثابتًا، بل بقيمة مختلفة بدرجة كبيرة؛ قيمة تعني أن الكون سيتمدد إلى الأبد وبمعدل دائم الزيادة.

لو كان المنظرون هم من اقترحوا هذا كنموذج كوني آخر، لم يكن العالم ليلحظ جهودهم أو يذكرها لوقت طويل. لكن ما حدث هنا هو أن خبراء لهم ثقلهم في مجال رصد الكون الحقيقي ارتاب بعضهم في بعض، وراجع كل منهم الأنشطة التي قام بها منافسوه، ثم اكتشفوا في النهاية أنهم متفقون على البيانات التي توصلوا إليها وعلى تفسيرها. ونتائج هذه المشاهدات لم تعنِ أنه يوجد ثابت كوني غير صفري وحسب، بل عينت لهذا الثابت قيمة تجعل الفضاء مسطحًا.

ماذا تقول؟ الثابت الكوني يجعل الفضاء مسطحًا؟ ألا يعني هذا أننا، مثل ملكة القلوب الحمراء في رواية أليس في بلاد العجائب، نؤمن بستة أمور مستحيلة قبل الإفطار؟ لكن التدبر الأكثر نضجًا قد يقنعك بأنه لو كان الفضاء الخاوي في ظاهره يحوي بالفعل طاقة، فإن هذه الطاقة ستسهم في إضافة الكتلة إلى الكون، وهو ما تشير إليه معادلة أينشتاين الشهيرة ط = ك × س٢. فإذا امتلكت بعض الطاقة «ط»، يمكنك تصورها على هيئة مقدار مكافئ من الكتلة «ك»، مساوٍ لمقدار الطاقة مقسومًا على مربع سرعة الضوء «س٢». وعلى هذا يجب أن تساوي الكثافة الكلية الكثافة التي تسهم بها المادة، مضافة إليها الكثافة التي تسهم بها الطاقة.

إن الكثافة الإجمالية الجديدة هي ما يجب علينا مقارنته بالكثافة الحرجة. وإذا تساوت الكفتان يكون الفضاء مسطحًا. من شأن هذا أن يتوافق مع التنبؤ الذي قدمه

نموذج التضخم الخاص بالفضاء المسطح؛ إذ إنه لا يكترث بما إذا كانت الكثافة الكلية للفضاء آتية من كثافة المادة، أم من المادة المكافئة التي تقدمها الطاقة الموجودة في الفضاء الخاوي، أم من مزيج منهما.

جاء الدليل الحاسم على وجود ثابت كوني غير صفري، ومن ثم على وجود الطاقة المظلمة، من مشاهدات الفلكيين لنوع معين من النجوم المتفجرة المسماة بالسوبرنوفا أو المستعرات العظمى، وهي النجوم التي تموت ميتة درامية في انفجارات مهولة. هذه المستعرات العظمى، المسماة بالنوع Ia أو SN Ia تختلف عن الأنواع الأخرى، التي تحدث حين تنهار قلوب النجوم الهائلة على نفسها بعد استنفاد كل محاولات إنتاج المزيد من الطاقة من خلال الاندماج النووي. على النقيض من ذلك يعود أصل المستعرات من النوع Ia إلى نجوم الأقزام البيضاء الموجودة في الأنظمة النجمية الثنائية. فأي نجمين يتصادف مولدهما متقاربين سيمضيان حياتيهما وهما يدوران حول مركز كتلتيهما المشترك. وإذا امتلك أحد النجمين كتلة أكبر من الآخر فسيمر عبر مراحل حياته بشكل أسرع، وفي أغلب الأحيان سيفقد طبقاته الخارجية من الغاز، كاشفًا عن قلبه للكون على صورة «قزم أبيض» منكمش متحلل، وهو جرم لا يزيد في الحجم عن كوكب الأرض، لكن له كتلة تساوي كتلة الشمس. يصف الفيزيائيون مادة القزم الأبيض بـ «المتحللة»؛ لأن لها كثافة عالية للغاية — أعلى من كثافة الحديد أو الذهب بأكثر من مائة ألف ضعف — حتى إن تأثيرات ميكانيكا الكم تبدأ في العمل على المادة المتجمعة، مانعة إياها من الانهيار بفعل قوى الجذب الذاتية المهولة لها.

يجتذب القزم الأبيض الذي يدور في مدار مشترك مع نجم عجوز المادة الغازية التي تهرب من ذلك النجم. هذه المادة، الغنية بالهيدروجين، تتراكم على سطح القزم الأبيض، الذي يزداد بثبات من حيث الحرارة والكثافة. وفي النهاية، حين تزيد الحرارة عن ١٠ ملايين درجة، يشتعل النجم كله في تفاعل اندماج نووي. يمزق الانفجار الناتج، المشابه في المفهوم للقنبلة الهيدروجينية وإن كان أعنف بتريليونات المرات، أوصال القزم الأبيض ويَنتج نجم مستعر من النوع Ia.

صارت المستعرات العظمى من النوع Ia مفيدة للغاية للفلكيين، وذلك لامتلاكها خاصيتين منفصلتين؛ الأولى هي أنها تنتج أكثر انفجارات المستعرات العظمى سطوعًا في الكون، التي يمكن رؤيتها على بعد مليارات السنوات الضوئية. الثانية: هي أن الطبيعة

تضع حدًّا للكتلة القصوى التي يمكن لأي قزم أبيض الوصول إليها، وهي تساوي نحو ١٫٤ مرة قدر كتلة الشمس. تتراكم المادة على سطح القزم الأبيض إلى أن تصل كتلته إلى هذه القيمة المقيِّدة. وفي تلك اللحظة ينطلق تفاعل الاندماج النووي ممزقًا أوصال القزم الأبيض، ويقع هذا الانفجار في الأجرام التي لها الكتلة نفسها والتركيبة نفسها، والمنثورة في أرجاء الكون. ونتيجة لذلك تنتج جميع انفجارات المستعرات العظمى الآتية من الأقزام البيضاء كمية الطاقة القصوى عينها، وجميعها تخبو بالمعدل نفسه تقريبًا، بعد أن تصل لأعلى سطوع لها.

هاتان السمتان المزدوجتان تمكنان المستعرات العظمى من النوع Ia من تزويد الفلكيين بـ «شموع معيارية» سهلة التمييز، ويقصد بها أجرام معروف عنها أنها تنتج مقدار الطاقة القصوى عينه أينما ظهرت. بطبيعة الحال تؤثر المسافة بيننا وبين المستعرات العظمى على درجة السطوع التي نرصدها بها. فأي نجمين من المستعرات العظمى من النوع Ia، مرصودين في مجرتين بعيدتين، سيكون لهما القدر الأقصى من السطوع نفسه، فقط لو كانا يبعدان المسافة عينها عنا. وإذا كان أحدهما يبعد عنا ضعف المسافة، فهذا يعني أنه سيكون له ربع السطوع الظاهري للنجم الثاني؛ لأن السطوع الذي يبدو عليه الجسم لنا يقل بالتناسب مع مربع المسافة التي تفصله عنا.

فور أن عرف الفلكيون كيف يميزون المستعرات العظمى من النوع Ia، استنادًا على الدراسة التفصيلية لطيف الضوء القادم من كل واحد من هذه الأجرام، صاروا يملكون حلًّا سحريًّا لمعضلة حساب المسافات بدقة. فبعد قياس المسافة التي تفصلنا عن أقرب مستعر أعظم من النوع Ia (من خلال وسائل أخرى)، يمكنهم تقدير المسافات الأبعد التي تفصلنا عن المستعرات العظمى الأخرى من النوع نفسه، وذلك بمقارنة درجة سطوع الأجرام الأقرب بتلك الأبعد.

خلال عقد التسعينيات، نَقَّحَ فريقان من متخصصي المستعرات العظمى، أحدهما في هارفارد والآخر في جامعة كاليفورنيا ببيركلي، هذا الأسلوب من خلال العثور على طريقة لتعويض الاختلافات الطفيفة، والحقيقية في الوقت نفسه، بين درجات سطوع المستعرات العظمى من النوع Ia، التي تكشف عنها هذه النجوم من خلال تفاصيل أطياف الضوء الخاصة بها. لكن من أجل استخدام هذه الوسيلة المكتسبة حديثًا لكشف النقاب عن المسافات التي تفصلنا عن المستعرات العظمى البعيدة للغاية، احتاج الباحثون تلسكوبًا قادرًا على رصد المجرات البعيدة بدقة شديدة، ووجدوا ضالتهم في تلسكوب

هابل الفضائي، الذي جُدد في عام ١٩٩٣ وصُححت مرآته الأساسية التي كانت قد نُحتت في البداية بشكل خاطئ. استخدم خبراء المستعرات العظمى تلسكوبات أرضية لاكتشاف عشرات المستعرات العظمى من النوع Ia في مجرات تبعد عن مجرة درب التبانة بمليارات السنوات الضوئية. بعد ذلك استعانوا بالتلسكوب هابل، الذي لا يسعهم إلا الحصول على مقدار متواضع من وقت الرصد الخاص به، من أجل دراسة هذه المستعرات العظمى المكتشفة حديثًا بالتفصيل.

قرب نهاية التسعينيات اشتد التنافس بين فريقي رصد المستعرات العظمى لإنتاج «مخطط هابل» الجديد والموسع، وهو الرسم البياني الرئيسي في علم الكونيات الذي يعين المسافات بيننا وبين المجرات، بالإضافة إلى السرعات التي تبتعد بها هذه المجرات عنا. يحسب الفيزيائيون الفلكيون هذه السرعات من خلال معرفتهم بتأثير دوبلر (المشروح في الفصل الثالث عشر)، الذي يغير ألوان الضوء الصادر عن المجرات بتأثير يعتمد على السرعات التي تبتعد بها هذه المجرات عنا.

إن المسافة بيننا وبين كل مجرة وسرعة ابتعادها عنا تحدد نقطة على مخطط هابل. بالنسبة للمجرات القريبة منا، تتراص هذه النقاط بانتظام بعضها وراء بعض؛ لأن كل مجرة تبعد عنا ضعف المسافة التي تبعدها مجرة أخرى تتحرك مبتعدة عنا بضعف السرعة التي تبتعد بها المجرة الثانية. يتم التعبير عن النسبة المباشرة بين المسافة إلى المجرات وسرعة ابتعادها بصورة جبرية من خلال قانون هابل، وهو معادلة بسيطة تصف السلوك الأساسي للكون نصها هو: $v = H_o \times d$. هنا يرمز الحرف v إلى سرعة ابتعاد المجرة، بينما d إلى المسافة بيننا وبينها، أما H_o فهو رقم ثابت، يسمى ثابت هابل، وينطبق على الكون كله في أي وقت معين. إن أي مراقبين من كواكب أخرى في شتى أرجاء الكون يدرسون الكون بعد مرور ١٤ مليار عام على الانفجار العظيم سيجدون أن المجرات تتباعد بسرعة تتفق مع قانون هابل، وكلهم سيعينون القيمة نفسها لثابت هابل، مع أنهم على الأرجح سيسمونه باسم مختلف. إن افتراض الديمقراطية الكونية هذا هو ما يقوم عليه علم الكونيات الحديث كله. لا يمكننا إثبات أن الكون بأسره يسير وفق هذا المبدأ الديمقراطي؛ فربما في مكان ما، وراء أبعد آفاق رؤيتنا، يتصرف الكون على نحو مختلف عما نراه. لكن علماء الكونيات يرفضون هذه المقاربة، على الأقل فيما يخص الكون القابل للرصد. وفي هذه الحالة يعد القانون $v = H_o \times d$ قانونًا كونيًّا.

لكن مع مرور الوقت يمكن أن تتغير قيمة ثابت هابل، وقد حدث هذا بالفعل. ومن شأن مخطط هابل الجديد المحسن — الموسع بحيث يشمل المجرات التي تبعد عنا

بمليارات السنوات الضوئية — أن يكشف ليس فقط عن قيمة ثابت هابل H_0 اليوم (والمجسد من خلال الخط المائل الذي يمر عبر النقاط التي تمثل المسافات إلى المجرات وسرعة ابتعادها عنا) بل أيضًا عن الكيفية التي تتباين بها نسبة التمدد الحالية للكون عن قيمتها منذ مليارات الأعوام. وستُكشف هذه الأخيرة من خلال تفاصيل المساحات العليا من المخطط، التي تصف النقاط بها أبعد مجرات جرى رصدها على الإطلاق. وبهذا سيكشف مخطط هابل الممتد على مسافة مليارات السنوات الضوئية عن تاريخ تمدد الكون، المبين من خلال التغير في معدل التمدد.

أثناء السعي لتحقيق هذا الهدف كان من حسن حظ مجتمع الفيزيائيين الفلكيين وجود فريقين متنافسين من راصدي المستعرات العظمى. وقد كان تأثير نتائج دراسة المستعرات العظمى — التي أعلنت لأول مرة في فبراير من عام ١٩٩٨ — عظيمًا حتى إنه لم يكن ليكتب لإحدى المجموعتين النجاة بمفردها من التشكك المتوقع الذي قابل به علماء الكونيات الإطاحة الكاملة بنماذج الكون المقبولة على نطاق واسع بينهم. فلأن فريقي الرصد كانا يوجهان شكوكهما في الأساس بعضهما لبعض، عكف كل فريق منهما على البحث ببراعة عن أي خطأ في بيانات الفريق الآخر أو تفسيراته. وحين أعلن كل فريق منهما أنه مقتنع بمدى حرص وكفاءة منافسه، بالرغم من تحيزاتهم وأهوائهم البشرية، لم يكن أمام مجتمع علماء الكونيات خيار آخر سوى القبول، وإن كان مشوبًا بقدر من المقاومة، بتلك الأخبار القادمة من تخوم الفضاء.

ماذا كانت تلك الأخبار؟ فقط أن أبعد المستعرات العظمى عنا كان أخفت بقليل عن المتوقع. يعني هذا أن هذه المستعرات العظمى أبعد في المسافة عما يفترض بها، وهو ما يكشف بدوره أن شيئًا ما تسبب في جعل الكون يتمدد أسرع بقليل مما ينبغي. ما الذي حث على هذا التمدد الإضافي؟ المتهم الوحيد الذي تنطبق عليه الحقائق هو «الطاقة المظلمة» التي تكمن في الفضاء الخاوي، تلك الطاقة التي يتوافق وجودها مع القيمة غير الصفرية للثابت الكوني. ومن خلال قياس الدرجة التي ظهرت بها المستعرات العظمى أخفت من المتوقع حدد فريقا الفلكيين شكل الكون ومصيره.

حين تحقق الاتفاق بين الفريقين الدارسين للمستعرات العظمى، اتضح أن الكون مسطح. لفهم هذا علينا استخدام بعض الرموز اليونانية. يحتاج الكون ذو الثابت الكوني غير الصفري إلى رقم إضافي لوصفه؛ لذا يتعين علينا أن نضيف إلى ثابت هابل — الذي نرمز

له بالرمز H_0 كي نحدد قيمته في الوقت الحالي — والكثافة الكلية للمادة — التي تحدد وحدها تقوس الفضاء إذا كان الثابت الكوني يساوي صفرًا — معادل الكثافة التي توفرها لنا الطاقة المظلمة، والتي — بموجب معادلة أينشتاين ط = ك × س[٢] — لا بد أن تحمل قدرًا من الكتلة (ك) لأنها تحمل طاقة (ط). يعبر علماء الكونيات عن كثافتي المادة والطاقة المظلمة بالرمزين Ω_M وΩ_Λ، حيث يمثل الرمز Ω (الحرف أوميجا باليونانية) نسبة الكثافة الكونية إلى الكثافة الحرجة. يمثل الرمز Ω_M نسبة متوسط كثافة كل المادة الموجودة في الكون إلى الكثافة الحرجة، بينما يرمز Ω_Λ إلى نسبة الكثافة المكافئة التي توفرها الطاقة المظلمة إلى الكثافة الحرجة. هنا يمثل الرمز Λ (الحرف لامبدا باليونانية) الثابت الكوني. في الكون المسطح ذي التقوس الصفري، يساوي مجموع Ω_M وΩ_Λ واحدًا صحيحًا؛ لأن إجمالي الكثافة (للمادة الفعلية إضافة إلى المادة المكافئة التي توفرها الطاقة المظلمة) يساوي بالضبط الكثافة الحرجة.

تقيس مشاهدات المستعرات العظمى من النوع Ia الفارق بين Ω_M وΩ_Λ. تميل المادة إلى إعاقة تمدد الكون؛ لأن الجاذبية تسحب كل أجزاء المادة بعضها نحو بعض. وكلما زادت كثافة المادة قلَّ التمدد بفعل هذه الجاذبية. على الجانب الآخر تقوم الطاقة المظلمة بشيء مغاير تمامًا. فعلى العكس من أجزاء المادة، التي تبطئ قوى الجذب المتبادلة بينها من التمدد الكوني، تتسم الطاقة المظلمة بخاصية عجيبة، وهي أنها تميل إلى جعل الكون يتمدد، ومن ثم تسرع من عملية التمدد. ومع تمدد الكون يظهر المزيد من الطاقة المظلمة إلى الوجود، وبهذا يمثل الكون الهدية المجانية المطلقة. تميل الطاقة المظلمة الجديدة إلى جعل الكون يتمدد أسرع، وبهذا تصير الهدية المجانية أكبر وأكبر مع مرور الوقت. إن قيمة Ω_Λ تحدد حجم الثابت الكوني، كما تعرفنا بعظم طرق التمدد التي تفرضها الطاقة المظلمة. وحين قاس الفلكيون العلاقة بين المسافات إلى المجرات وسرعات الابتعاد، عرفوا نتيجة المنافسة بين الجاذبية التي تسحب الأشياء نحوها والطاقة المظلمة التي تدفعها بعيدًا. أشارت القياسات إلى أن $\Omega_\Lambda - \Omega_M$ = ٠٫٤٦، بزيادة أو نقصان قدره ٠٫٠٣. وبما أن الفلكيين كانوا قد حددوا بالفعل أن قيمة Ω_M تساوي ٠٫٢٥ تقريبًا، فهذا معناه أن Ω_Λ تساوي حوالي ٠٫٧١. وبهذا يرتفع مجموع Ω_M وΩ_Λ إلى ٠٫٩٦، وهو رقم قريب من الإجمالي الذي يتنبأ به نموذج التضخم. نقحت دراسات حديثة جديدة هذه النتائج أكثر جاعلة هذا الرقم أقرب إلى الواحد الصحيح.

بالرغم من الاتفاق بين المجموعتين المتنافستين من خبراء المستعرات العظمى، ظل بعض علماء الكونيات على حذرهم. فليس من اليسير أبدًا أن يتخلى أحد العلماء عن

قناعة حملها لوقت طويل، على غرار الاقتناع بأن الثابت الكوني يفترض أن يكون صفرًا، ويستعيض عنها بقناعة جديدة تمامًا، مثل النتيجة القائلة إن الطاقة المظلمة تملأ كل سنتيمتر مكعب من الفضاء الخاوي. إن جميع المتشككين تقريبًا — الذين تابعوا كافة تفاصيل الاحتمالات الكونية الممكنة — أقروا في نهاية المطاف باقتناعهم، بعد أن استوعبوا المشاهدات الجديدة الآتية من القمر الصناعي المصمم بغرض كشف إشعاع الخلفية الكوني بدقة غير مسبوقة. هذا القمر الصناعي، المسبار WMAP بالغ الأهمية الموصوف في الفصل الثالث، بدأ في رصد مشاهدات مفيدة في عام ٢٠٠٢، وفي بدايات عام ٢٠٠٣ كان قد راكم كمية كافية من البيانات مكنت علماء الكونيات من رسم خريطة للسماء كلها، كما تبدو بالأشعة الميكرونية التي تحمل أغلب إشعاع الخلفية الكوني. ومع أن المشاهدات السابقة كشفت عن النتائج الأساسية التي يمكن استقاؤها من هذه الخريطة، فإنها رصدت فقط مناطق صغيرة من السماء أو أظهرت قدرًا أقل بكثير من التفاصيل. شكلت خريطة المسبار WMAP للسماء بأكملها حجر الزاوية لهذه الجهود، كما حددت، بشكل قاطع ونهائي، أهم السمات لإشعاع الخلفية الكوني.

إن أبرز ملامح هذه الخريطة وأكثرها لفتًا للنظر، التي ظهرت أيضًا من خلال المشاهدات التي استُخدمت فيها المناطيد وسلف المسبار WMAP — القمر الصناعي المسمى بمستكشف الخلفية الكونية COBE — هو أنها خالية تقريبًا من الملامح المميزة. فلا يوجد تفاوت قابل للقياس في شدة إشعاع الخلفية الكوني القادم من مختلف الاتجاهات إلى أن نصل لمستوى دقة يبلغ حوالي الجزء في الألف في قياساتنا. وحتى عندئذٍ فالفوارق الوحيدة الممكن تمييزها تبدو كتركيزات أعلى قليلًا في الشدة، مركزة في اتجاه بعينه، تقابلها تركيزات مكافئة أقل شدة في الجانب المعاكس. هذه الاختلافات تنبع من حركة مجرة درب التبانة بين جاراتها من المجرات. إن تأثير دوبلر يجعلنا نتلقى قدرًا أقوى بقليل من الإشعاع من الاتجاه الذي نتحرك نحوه، لا لأن الإشعاع أقوى في حقيقته، بل لأن حركتنا في اتجاه إشعاع الخلفية الكوني تزيد من الطاقات المكتشفة بقدر يسير.

وفور أن نعوض تأثير دوبلر يبدو إشعاع الخلفية الكوني متجانسًا بالكامل، إلى أن نحصل على دقة أعلى تقدر بحوالي جزء في المائة ألف. وعلى ذلك المستوى تبدأ الانحرافات الدقيقة عن التجانس العام في الظهور. وهي تحدد المواضع التي يصل منها إشعاع الخلفية بشدة أكبر قليلًا أو أقل قليلًا. وكما أوضحنا من قبل، فالاختلافات في الشدة تميز الاتجاهات التي تكون فيها المادة إما أكثر حرارة وكثافة بقليل أو أبرد وأقل كثافة

بقليل عن القيمة المتوسطة التي سادت الكون بعد ٣٨٠ ألف عام على الانفجار العظيم. كان القمر الصناعي مستكشف الخلفية الكونية هو أول ما رصد هذه الاختلافات، ثم عززت الأدوات المحمولة على مناطيد والمشاهدات التي أجريت من القطب الجنوبي من قياساتنا، بعد ذلك قدم لنا المسبار WMAP دقة أعلى في رصد السماء بأكملها، وهذا مكن علماء الكونيات من بناء خريطة مفصلة لشدة إشعاع الخلفية الكوني كما هو مرصود بدقة زاويَّة غير مسبوقة قدرها حوالي درجة واحدة.

حظيت الانحرافات الطفيفة عن مستوى التجانس العام، التي كشف عنها كل من مستكشف الخلفية الكونية والمسبار WMAP، باهتمام كبير من جانب علماء الكونيات. فبادئ ذي بدء، تبين هذه الانحرافات بذور البُنى الكونية في الوقت الذي توقف فيه إشعاع الخلفية الكوني عن التفاعل مع المادة. فالمناطق التي كانت أكثر كثافة من المتوسط في ذلك الوقت حظيت بأسبقية اجتذاب المادة إليها، وربحت مسابقة اكتساب القدر الأعظم من المادة بفضل جاذبيتها. وبهذا تؤكد النتائج الأولية الآتية من الخريطة الجديدة لشدة إشعاع الخلفية الكوني في شتى الاتجاهات على نظريات علماء الكونيات، التي تقول إن التفاوت المهول في الكثافة من مكان لآخر عبر الكون يعود أصله إلى الاختلافات الطفيفة في الكثافة بعد بضع مئات الآلاف من السنوات في أعقاب الانفجار العظيم.

لكن بإمكان علماء الكونيات استخدام المشاهدات الجديدة لإشعاع الخلفية الكوني للتوصل إلى حقيقة أخرى جوهرية من حقائق الكون. فتفاصيل خريطة كثافة إشعاع الخلفية الكوني من مكان لآخر تكشف عن تقوس الفضاء نفسه. هذه النتيجة المذهلة ترتكن على حقيقة أن تقوس الفضاء يؤثر على الكيفية التي يتحرك بها الإشعاع خلاله. فمثلًا لو أن للفضاء تقوسًا موجبًا، حينها عندما نرصد إشعاع الخلفية الكوني سنكون في نفس موقف الراصد الموجود عند القطب الشمالي، وينظر على امتداد سطح الأرض لدراسة الإشعاع الصادر بالقرب من خط الاستواء. ولأن خطوط الطول تميل للتجمع عند القطبين يبدو مصدر الإشعاع منحرفًا بزاوية أصغر عما لو كان عليه الحال مع السطح المستوي.

لتفهم كيف يؤثر تقوس الفضاء على الحجم الزاوي للملامح الموجودة في إشعاع الخلفية الكوني، تخيل الوقت الذي توقف فيه الإشعاع عن التفاعل مع المادة. في ذلك الوقت كانت أكبر انحرافات يمكن أن توجد عن مستوى التجانس العام في الكون لها حجم يستطيع علماء الكونيات قياسه: عمر الكون في ذلك الوقت، مضروبًا في سرعة

الضوء، حوالي ٣٨٠ ألف سنة ضوئية عرضًا. هذا يمثل أكبر مسافة كان يمكن فيها للجسيمات أن يؤثر بعضها على بعض لإنتاج أي مواطن شذوذ. وعلى مسافات أبعد من ذلك لم تكن «الأخبار» من الجسيمات الأخرى قد وصلت بعد؛ لذا لا يمكن تحميلها مسئولية أي انحرافات عن مستوى التجانس العام.

ما حجم الزاوية التي ستتوزع بها هذه الانحرافات على السماء الآن؟ يعتمد هذا على تقوس الفضاء، الذي يمكننا تحديده من خلال إيجاد مجموع Ω_M وΩ_Λ. فكلما اقترب المجموع من ١ صار تقوس الفضاء أقرب إلى الصفر، وعظم الحجم الزاوي الذي نرصده للانحرافات القصوى عن تجانس إشعاع الخلفية الكوني. يعتمد تقوس الفضاء هذا على مجموع الرقمين السالفين فقط؛ لأن كلا نوعي الكثافة يجعلان الفضاء يتقوس على النحو ذاته. وبهذا تقدم مشاهدات إشعاع الخلفية الكوني وسيلة قياس مباشرة لمجموع $\Omega_M + \Omega_\Lambda$، على العكس من مشاهدات المستعرات العظمى التي تقيس الاختلاف بين Ω_M وΩ_Λ.

إن البيانات الآتية من المسبار WMAP تبين أن أكبر الانحرافات عن مستوى تجانس إشعاع الخلفية الكوني تغطي زاوية قدرها حوالي درجة واحدة، وهو ما يعني أن $\Omega_M + \Omega_\Lambda$ له قيمة قدرها ١٫٠٢، بزيادة أو نقصان ٠٫٠٢. وعلى هذا، ضمن حدود الدقة التجريبية، يمكننا أن نستنتج أن $\Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$، وأن الفضاء مسطح. يمكن التعبير عن نتائج مشاهدات المستعرات العظمى البعيدة من النوع Ia على صورة $\Omega_M - \Omega_\Lambda$ = ٠٫٤٦. إذا دمجنا هذه النتيجة مع النتيجة التي تقول إن $\Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$، سنجد أن Ω_M = ٠٫٢٧، وأن Ω_Λ = ٠٫٧٣، بمعدل شك قدره نسبة مئوية بسيطة في كل رقم. وكما ذكرنا من قبل، هذه هي أفضل التقديرات الحالية للفيزيائيين الفلكيين لقيمة هذين العاملين الكونيين المحوريين، وهو ما يخبرنا بأن المادة — العادية والمظلمة — توفر ٢٧ بالمائة من إجمالي كثافة الطاقة في الكون، وأن الطاقة المظلمة توفر حوالي ٧٣ بالمائة. (وإذا فضلنا التفكير في مقدار الكتلة المكافئ للطاقة، ط/س٢، يمكن اعتبار أن الطاقة المظلمة تمثل ٧٣ بالمائة من كتلة الكون الإجمالية.)

عرف علماء الكونيات منذ وقت طويل أنه لو كان للكون ثابت كوني غير صفري، من الحتمي أن يتغير التأثير النسبي للمادة والطاقة المظلمة بقدر كبير مع مرور الوقت. من ناحية أخرى سيظل الكون المسطح مسطحًا إلى الأبد، منذ بدايته في الانفجار العظيم إلى المستقبل غير المحدود الذي ينتظرنا. ففي الكون المسطح يكون مجموع Ω_M وΩ_Λ هو ١ على الدوام، لهذا إذا تغير أحد الرقمين فلا بد أن يتغير الآخر لتعويض الفارق.

خلال الفترة الكونية التي أعقبت الانفجار العظيم مباشرة، لم يكن للطاقة المظلمة أي تأثير يذكر على الكون. كان الفضاء الموجود صغيرًا للغاية، مقارنة بالفترات التالية على ذلك، حتى إن قيمة Ω_Λ كانت تزيد عن الصفر بقليل، بينما كانت Ω_M أقل من ١ بقليل. في تلك الأيام الغابرة كان الكون يتصرف كما لو أنه لا يوجد ثابت كوني. لكن مع مرور الوقت انخفضت Ω_M بشكل ثابت، بينما ارتفعت Ω_Λ بشكل ثابت، محافظتين على مجموع قدره ١. وفي النهاية، بعد مئات المليارات من الأعوام من اليوم، ستنخفض Ω_M وصولًا إلى ما يناهز الصفر، بينما سترتفع Ω_Λ لتسود بشكل شبه تام. وبهذا يتضمن تاريخ الكون المسطح ذي الثابت الكوني غير الصفري تحولًا من السنوات الأولى، حين لم تكن الطاقة المظلمة شيئًا يذكر، مرورًا بالفترة «الحالية»، التي تحمل Ω_M وΩ_Λ قيمتين متقاربتين، ووصولًا إلى مستقبل بعيد غير محدود، تتوزع فيه المادة بندرة في أرجاء الفضاء حتى إن Ω_M ستنهار قيمتها إلى ما يقارب الصفر، مع أن مجموع القيمتين سيظل يساوي ١.

إن الاستنتاج القائم على المشاهدات بشأن مقدار الكتلة الموجود في العناقيد المجرية اليوم يعطي Ω_M قيمة قدرها ٠٫٢٥، بينما مشاهدات إشعاع الخلفية الكوني والمستعرات العظمى البعيدة تشير إلى قيمة أقرب إلى ٠٫٢٧. وفي حدود الدقة التجريبية تتوافق هاتان النسبتان. وإذا كان الكون الذي نعيش فيه له ثابت كوني غير صفري، وإذا كان هذا الثابت هو المسئول (بالإضافة إلى المادة) عن إنتاج الكون المسطح الذي يتنبأ به نموذج التضخم، فلا بد إذن أن يكون للثابت الكوني قيمة تجعل Ω_Λ تزيد قليلًا عن ٠٫٧؛ أي مرتين ونصف قدر قيمة Ω_M. بعبارة أخرى، يقع على عاتق Ω_Λ القيام بأغلب العمل كي تجعل $(\Omega_M + \Omega_\Lambda)$ تساوي ١. هذا يعني أننا مررنا بالفعل بالفترة الكونية التي كانت فيها المادة والثابت الكوني يسهمان بالقدر نفسه (بحيث يساوي كل منهما ٠٫٥) في سبيل الحفاظ على تسطح الفضاء.

في غضون أقل من العقد غيرت الهزة المزدوجة القادمة من المستعرات العظمى من النوع Ia وإشعاع الخلفية الكوني وضعية الطاقة المظلمة من مجرد فكرة جامحة تلهى بها أينشتاين ذات مرة إلى حقيقة كونية من حقائق الحياة. وما لم يثبت أن مجموعة المشاهدات إما أُسيء تفسيرها أو أنها غير دقيقة أو خاطئة بالكامل، علينا القَبول بالنتيجة القائلة إن الكون لن ينكمش أو يعيد دورة حياته ثانية. بدلًا من ذلك يبدو المستقبل كئيبًا؛ فبعد مئات المليارات من الأعوام من اليوم، حين تكون النجوم قد احترقت، سيختفي كل شيء عدا أقرب المجرات إلينا، وراء أفق رؤيتنا.

بحلول ذلك الوقت ستكون مجرة درب التبانة قد التحمت مع أقرب جاراتها، لتكونا مجرة واحدة عملاقة موجودة وسط العدم. ستحوي سماؤنا بالليل النجوم الدائرة (الميتة والحية) ولا شيء آخر، تاركة لفلكيي المستقبل كونًا قاسيًا. فدون وجود مجرات تمكنهم من تتبع تمدد الكون سيستنتجون مخطئين أننا نعيش في كون ثابت، كما فعل أينشتاين. وسيكون الثابت الكوني وطاقته المظلمة قد أوصلا الكون إلى نقطة يستحيل فيها من الأساس قياسهما أو حتى الحلم بهما.

لنستمتع بالكون بينما نستطيع ذلك إذن.

الفصل السادس

كون واحد أم عدة أكوان؟

زلزل اكتشاف أننا نعيش في كون متسارع، ذي معدل تمدد متزايد على الدوام، أركان علم الكونيات مع بداية عام ١٩٩٨، حين أعلن للمرة الأولى عن مشاهدات المستعرات العظمى التي تشير لهذا التسارع. وبعد التأكيد على تسارع الكون من واقع المشاهدات التفصيلية لإشعاع الخلفية الكوني، وبعد أن قضى علماء الكونيات سنوات عدة في تدبر تبعات ذلك التمدد الكوني المتسارع ظهر سؤالان شغلا أذهان علماء الكونيات بالنهار وأضاءا أحلامهم بالليل، وهما: ما الذي يجعل الكون يتسارع؟ ولماذا يجري التسارع بهذه القيمة المحددة التي يتسارع بها الكون الآن؟

الإجابة البسيطة للسؤال الأول تنسب مسئولية التسارع بأكملها إلى الطاقة المظلمة، أو للثابت الكوني غير الصفري. فمقدار التسارع يعتمد مباشرة على كمية الطاقة المظلمة في السنتيمتر المكعب، وكلما زادت كمية الطاقة زاد معدل التسارع. ومن ثم، إذا استطاع علماء الكونيات أن يفسروا من أين أتت الطاقة المظلمة، وسبب وجودها بالقدر الذي هي عليه اليوم، فيمكنهم الزعم بأنهم كشفوا النقاب عن أحد أسرار الكون الجوهرية؛ تفسير وجود «الهدية المجانية»؛ تلك الطاقة الموجودة في الفضاء الخاوي التي تدفع الكون باستمرار نحو تمدد سرمدي دائم التسارع، ونحو مستقبل بعيد تحوي فيه السنة الضوئية المكعبة مقدارًا مهولًا من الفضاء، ومن ثم مقدارًا مهولًا من الطاقة المظلمة، دون أي وجود للمادة تقريبًا.

مِمَّ تتكون الطاقة المظلمة؟ من غياهب عالَم فيزياء الجسيمات يستطيع علماء الكونيات الخروج بإجابة لهذا السؤال: فالطاقة المظلمة تنشأ من الأحداث التي تقع في الفضاء الخاوي، هذا إذا وثقنا بما تعلمناه من نظرية الكم للمادة والطاقة. إن فيزياء الجسيمات بأسرها تقوم على هذه النظرية، التي تم التحقق من صحتها بدقة على المستوى

دون الميكروسكوبي حتى إن جميع الفيزيائيين يؤمنون بصحتها. من الجوانب الرئيسية لنظرية الكم أن ما نطلق عليه الفضاء الخاوي يعج في الواقع بـ «الجسيمات الافتراضية»، التي تظهر للوجود وتختفي بسرعة شديدة حتى إننا نعجز عن رصدها بشكل مباشر، وكل ما يمكن رصده هو تأثيراتها. إن الظهور والاختفاء المتواصلين لهذه الجسيمات، الذي يسميه من يحبون المصطلحات الفيزيائية القوية «التفاوتات الكمية للفراغ»، هو ما يمد الفضاء الخاوي بالطاقة. إضافة إلى ذلك، يستطيع فيزيائيو الجسيمات، دون عناء كبير، حساب مقدار الطاقة الكامن في كل سنتيمتر مكعب من الفراغ. يتنبأ التطبيق المباشر لنظرية الكم على ما نسميه بالفراغ بأن التفاوتات الكمية هي المسئولة عن إنتاج الطاقة المظلمة دون شك. لكن حين نروي القصة من هذا المنظور يبدو أن السؤال الأهم بخصوص الطاقة المظلمة هو: لماذا احتاج علماء الكونيات لهذا الوقت الطويل حتى يدركوا أن هذه الطاقة موجودة؟

للأسف تُغَيِّر تفاصيل الموقف الفعلي هذا السؤال إلى: كيف أخطأ فيزيائيو الجسيمات إلى هذا الحد؟ فحسابات كمية الطاقة المظلمة الكامنة في كل سنتيمتر مكعب تنتج قيمة تفوق القيمة التي وجدها علماء الكونيات من واقع مشاهدات المستعرات العظمى وإشعاع الخلفية الكوني بمقدار $١٠^{١٢٠}$. عند تقدير الحسابات الفلكية البعيدة يمكن اعتبار النتائج التي تثبت صحتها في نطاق فارق قدره عشرة أضعاف على أنها مقبولة مؤقتًا، لكن فارقًا قدره $١٠^{١٢٠}$ لا يمكن غض الطرف عنه بسهولة، حتى من جانب أسهل المتساهلين. وإذا احتوى الفضاء الخاوي على مقدار من الطاقة قريب من هذا المقدار المقترح من قبل فيزيائيي الجسيمات، كان الكون سيتضخم لدرجة مهولة لم تكن حتى لتسمح لرءوسنا بأن تدور من فرط ضخامتها؛ إذ لم يكن الكون سيحتاج إلا لكسر بسيط من الثانية كي ينثر المادة في أرجائه بشكل لا يمكن تصوره. تتفق النظريات والمشاهدات على أن الفضاء الخاوي يجب أن يحوي طاقة مظلمة، لكنها تختلف بفارق قدره تريليون ضعف بشأن مقدار هذه الطاقة. لا يمكن لتشبيه أرضي، أو حتى كوني، أن يوضح هذا الفارق بدقة. فالمسافة بيننا وبين أبعد المجرات المعروفة تتجاوز حجم البروتون بمقدار $١٠^{٤٠}$ مرة. وحتى هذا الرقم المهول ما هو إلا جذر تكعيبي للفارق بين الحسابات النظرية والمشاهدات التجريبية لقيمة الثابت الكوني.

لوقت طويل وفيزيائيو الجسيمات وعلماء الكونيات يعرفون أن نظرية الكم تتنبأ بقيمة كبيرة غير مقبولة للطاقة المظلمة، لكن حين كان يُظَن أن الثابت الكوني مقداره

صفر، كانوا يأملون في اكتشاف تفسير ما من شأنه أن يعادل بين طرفي النظرية الموجب والسالب بحيث تختفي هذه المشكلة من الوجود، خاصة وأن اختزالًا مشابهًا حل من قبل مشكلة مقدار الطاقة التي تسهم بها الجسيمات الافتراضية في الجسيمات التي نرصدها. أَمَا وقد صار الثابت الكوني غير صفري فالأمل يخبو في العثور على مثل هذا الاختزال. وإذا وجد اختزال كهذا فعليه أن يزيل كل هذه القيمة النظرية المهولة التي لدينا اليوم. لكن الآن، وفي ظل عدم وجود تفسير جيد لحجم الثابت الكوني، يستمر علماء الكونيات في التعاون مع فيزيائيي الجسيمات في محاولة للتوفيق بين النظريات الخاصة بكيفية توليد الكون للطاقة المظلمة وبين القيمة المرصودة بالفعل للطاقة المظلمة في السنتيمتر المكعب الواحد.

وجه بعض من أبرع علماء الكونيات وفيزيائيي الجسيمات جُل طاقتهم نحو تفسير القيمة الناتجة عن المشاهدات، لكن دون أي نجاح. بث هذا الحماس، والضغينة أحيانًا، بين المنظرين، وجزء من هذا يرجع إلى أنهم يعرفون أن جائزة نوبل، ناهيك عن متعة الاكتشاف الغامرة نفسها، تنتظر من يستطيع تفسير ما فعلته الطبيعة كي تجعل الفضاء على هذا النحو. بيد أن هناك قضية أخرى تثير الجدل تحتاج للتفسير: لماذا تتساوى كمية الطاقة المظلمة، كما تقاس على صورة كتلة مكافئة، تقريبًا مع كمية الطاقة التي تسهم بها كل المادة الموجودة في الكون؟

يمكننا إعادة صياغة هذا السؤال بالاستعانة بالقيمتين Ω اللتين استخدمناهما لقياس كثافة المادة والكثافة المكافئة للطاقة المظلمة: لماذا تتساوى قيمتا Ω_M وΩ_Λ بشكل تقريبي، بدلًا من أن تكون إحدى القيمتين أكبر من الثانية بقدر ضخم؟ خلال المليار عام الأولى بعد الانفجار العظيم كانت Ω_M تساوي ١ تقريبًا، بينما كانت Ω_Λ تساوي صفرًا. وعلى مدار تلك السنوات صارت Ω_M أكبر من Ω_Λ بملايين، ثم بآلاف، ثم بمئات المرات. لكن اليوم، في ضوء أن Ω_M = ٠٫٢٧ وΩ_Λ = ٠٫٧٣، تتقارب القيمتان، مع أن Ω_Λ أكبر بشكل ملحوظ من Ω_M. وفي المستقبل البعيد، بعد أكثر من ٥٠ مليار عام من اليوم، ستكون Ω_Λ أكبر بمئات، ثم بآلاف، ثم بملايين، ثم في النهاية بمليارات المرات من Ω_M. لكن فقط خلال الحقبة الكونية الممتدة من ٣ مليارات إلى ٥٠ مليار عام بعد الانفجار العظيم تتساوى الكميتان إحداهما مع الأخرى بشكل تقريبي.

لمن لا يمعن التفكير تبدو الفترة بين ٣ مليارات عام و٥٠ مليار عام فترة طويلة للغاية من الزمن. ما المشكلة إذن؟ لكن من وجهة النظر الفلكية لا تعد هذه الفترة شيئًا

يذكر. فالفلكيون عادة ينظرون للزمن من منظور لوغاريتمي؛ بحيث يقسمون الوقت إلى فترات تتزايد بمعدل أسِّي. ففي البداية كان للكون عمر معين، ثم زاد هذا العمر بمقدار عشرة أضعاف، ثم بعشرة أضعاف أخرى، وهكذا لعدد لا حصر له من القفزات التي يزيد بها الكون بعشرة أضعاف كل مرة. افترض أننا بدأنا في حساب الوقت في أكثر لحظة مبكرة بعد الانفجار العظيم ذات مغزى في نظرية الكم؛ أي بعد $١٠^{-٤٣}$ ثانية. بما أن كل سنة تحوي ٣٠ مليونًا (٣×١٠^{٧}) ثانية، فسنحتاج لحوالي ٦٠ تضاعف أسِّي كي ننتقل من عمر $١٠^{-٤٣}$ ثانية إلى ٣ مليارات عام بعد الانفجار العظيم. وعلى النقيض من ذلك، لن نحتاج إلا لأكثر بقليل من تضاعف أسِّي واحد للتدرج من ٣ مليارات إلى ٥٠ مليار عام، وهي الفترة الوحيدة التي كانت فيها قيمتا Ω_M وΩ_Λ متقاربتين. بعد ذلك يفتح التضاعف الأسِّي غير المحدود الباب أمام مستقبل غير محدود. من هذا المنظور اللوغاريتمي لا توجد سوى احتمالية ضئيلة للغاية بأن نجد أنفسنا في ظرف كوني تكون فيه لكل من Ω_M وΩ_Λ قيمتان متقاربتان. أطلق مايكل تيرنر — عالم الكونيات الأمريكي الرائد — على هذه الأحجية — سؤال: لماذا نعيش في وقت تتقارب فيه قيمتا كل من Ω_M وΩ_Λ؟ — اسم «مشكلة نانسي كيريجان»، وذلك على اسم بطلة التزلج الأوليمبية التي تساءلت بعد نجاتها من محاولة قتل على يد صديق منافستها قائلة: «لماذا أنا؟ ولماذا الآن؟»

بالرغم من عجز علماء الكونيات عن حساب قيمة للثابت الكوني تقارب ولو من بعيد القيمة المقاسة بالفعل، فإنهم يملكون حلًّا لمشكلة كيريجان، لكنهم يختلفون فيما بينهم حول أهميته وتبعاته. فالبعض يعتنق هذا الحل، والبعض الآخر يقبله على مضض، بينما يتجنبه البعض، والبعض يزدريه. يربط هذا التفسير قيمة الثابت الكوني بحقيقة أننا نعيش هنا، على ظهر كوكب يدور حول نجم عادي، في مجرة عادية. ولأننا موجودون تصير هذه الحجة صحيحة، فالضوابط التي تصف الكون، وعلى الأخص قيمة الثابت الكوني، لا بد أن تسمح لنا بالعيش.

فكر، مثلًا، فيما سيحدث في كون تكون قيمة الثابت الكوني فيه أكبر بكثير من قيمتها الحالية. فالمقدار الأعظم من الطاقة المظلمة سيجعل قيمة Ω_Λ تزيد عن قيمة Ω_M بكثير، وذلك ليس بعد مرور ٥٠ مليار عام على الانفجار العظيم بل بعد بضعة ملايين من الأعوام وحسب. بحلول ذلك الوقت، في كون تهيمن عليه تأثيرات الطاقة المظلمة المتسارعة، ستتبعثر المادة بسرعة شديدة حتى إن المجرات والنجوم والكواكب لن تجد

وقتًا للتكون. وإذا افترضنا أن مدى الوقت منذ تكون أولى صور المادة المتجمعة إلى نشأة وتطور الحياة يغطي مليار عام على الأقل، يمكننا أن نستنتج أن وجودنا يقيد الثابت الكوني في قيمة تتراوح بين الصفر وبضعة أضعاف قيمته الحالية، مع استبعاد القيم الأعلى غير المحددة من حساباتنا تمامًا.

تكتسب هذه الفرضية المزيد من الجاذبية إذا افترضنا، كما يفعل العديد من علماء الكونيات، أن ما نطلق عليه اسم الكون ينتمي في الحقيقة إلى «كون متعدد» أكبر بكثير، يحتوي على عدد لا حصر له من الأكوان التي لا يمكن لأي كون منها التواصل مع غيره؛ فوفق مفهوم الكون المتعدد يُطمر الوجود بأسره في أبعاد أعلى، وبهذا يظل فضاء كوننا بمعزل عن أي كون آخر، والعكس صحيح. إن الافتقار إلى أي تفاعل ممكن ولو من الناحية النظرية مع أكوان أخرى يضع نظرية الكون المتعدد في مصاف الفرضيات غير القابلة للاختبار، ومن ثم غير القابلة للتأكيد، على الأقل إلى أن تجد عقول أذكى سبلًا يمكن من خلالها اختبار صحة نموذج الكون المتعدد. ففي الكون المتعدد تولد أكوان جديدة في أوقات عشوائية تمامًا، وتكون قادرة على التمدد بفعل التضخم حتى تصل إلى حجم مهول من الفضاء، وهي تفعل هذا دون أن تتداخل، ولو بأدنى قدر، مع الأكوان الأخرى التي لا حصر لها.

في الكون المتعدد يبزغ كل كون جديد للوجود بقوانين فيزياء وضوابط كونية خاصة به، بما فيها القواعد المحددة لقيمة الثابت الكوني. للعديد من هذه الأكوان الأخرى ثوابت كونية أكبر بكثير من الثابت الكوني لدينا، وسريعًا ما تتمدد حتى لا تصير لها كثافة تقريبًا، وهذا لا يسمح بوجود حياة. فقط نسبة ضئيلة، متناهية الصغر، من كل الأكوان الموجودة في الكون المتعدد توفر ظروفًا تسمح بظهور الحياة؛ لأن هذه النسبة الضئيلة بها ضوابط تسمح للمادة بتنظيم نفسها على صورة مجرات ونجوم وكواكب، وأن تستمر لمليارات السنوات.

يطلق علماء الكونيات على هذه الطريقة لتفسير قيمة الثابت الكوني اسم المبدأ الإنساني، مع أن المسمى «المقاربة الإنسانية» قد يكون أنسب. تحظى هذه المقاربة لتفسير ذلك السؤال المحوري في علم الكونيات بمزية واحدة عظيمة، وهي أن الناس إما يحبونها أو يكرهونها، لكن نادرًا ما يكون شعورهم محايدًا نحوها. فالمقاربة الإنسانية، شأن العديد من الأفكار المثيرة للاهتمام، يمكن تطويعها لمصلحة، ولتبدو في مصلحة، العديد من البُنى العقلية اللاهوتية أو الغائية. فبعض المتدينين يجدون أن المقاربة الإنسانية

تدعم معتقداتهم؛ لأنها تؤكد ضمنًا على الدور المحوري للإنسانية؛ فالكون، دون وجود أحد يرصده، لن يكون له وجود، على الأقل كما نعرفه الآن، ومن ثم لا بد أن قوى عليا هي التي جعلت الظروف مناسبة لوجودنا بهذه الصورة. لكن المعارض لهذه النتيجة قد يحتج بأن المقاربة الإنسانية لا تعني هذا في واقع الأمر، فمن المنظور الغائي يعني هذا الدليل على وجود قوة عليا أنه توجد أكوان لا حصر لها خُلقت كي تكون نسبة ضئيلة منها فقط هي الصالحة للحياة. فلماذا لا نغض الطرف عن العوامل الوسيطة ونتبع أساطير الخلق القديمة التي تركز على الإنسان وحسب؟

من ناحية أخرى، إذا اخترت أن ترى أي شيء بوصفه دليلًا على وجود قوة عليا، مثلما فعل سبينوزا، فلن يسعك سوى الإعجاب بذلك الكون المتعدد الذي ما برح يتفتح عن أكوان وليدة طوال الوقت. إن مفهوم الكون المتعدد، والمقاربة الإنسانية أيضًا، شأن أغلب الأنباء التي تردنا من تخوم العلم، يمكن تطويعها في اتجاهات مختلفة لخدمة احتياجات أي نظام عقائدي بعينه. لكن في واقع الأمر يجد أغلب علماء الكونيات نموذج الكون المتعدد مقبولًا بما يكفي دون أن يربطوه بأي نظام عقائدي آخر. يرى ستيفن هوكينج، الذي يشغل كرسي الأستاذية في علم الفلك بجامعة كامبريدج (وهو المنصب الذي شغله إسحاق نيوتن ذات يوم)، في المقاربة الإنسانية حلًّا رائعًا لمشكلة كيريجان. أما ستيفن واينبرج، الذي فاز بجائزة نوبل عن إسهاماته في فيزياء الجسيمات، فلا يحب هذه المقاربة، لكنه يعلن موافقته عليها، على الأقل في الوقت الحالي؛ نظرًا لعدم ظهور حل بديل معقول بعد.

قد يكشف التاريخ في نهاية المطاف أن علماء الكونيات يركزون على المشكلة الخطأ، وخطأ هنا بمعنى أننا لا نملك الفهم الكافي بعد للتعامل معها كما ينبغي. يحب واينبرج تشبيه الأمر بمحاولة يوهانز كبلر تفسير السبب وراء امتلاك الشمس لستة كواكب فقط (كما كان الفلكيون يعتقدون وقتها)، ولماذا تتحرك في المدارات التي تتحرك فيها. والآن، بعد كبلر بأربعمائة عام، لا يملك الفلكيون إلا قدرًا يسيرًا للغاية من المعرفة بشأن نشأة الكواكب، بما يجعلهم غير قادرين على تفسير عدد ومدارات الكواكب بالمجموعة الشمسية. لكننا نعرف يقينًا أن فرضية كبلر، التي اقترح من خلالها أن مساحات مدارات الكواكب حول الشمس تسمح بوجود أحد المجسمات الخمس المثالية بين كل زوج من المدارات المتجاورة، ليس لها أي صحة إطلاقًا؛ لأن هذه المجسمات لا تتناسب معها بشكل جيد، وأيضًا (وهو الأكثر أهمية) لأنه لا يوجد أي سبب وجيه لتفسير سبب

انصياع مدارات الكواكب لمثل هذه القاعدة. ربما تنظر الأجيال القادمة لعلماء الكونيات اليوم بالنظرة نفسها التي ننظر بها إلى كبلر، كشخص يكافح ببسالة لتفسير شيء يظل إلى اليوم مستحيل التفسير من واقع فهمنا للكون.

لا يفضل الجميع المقاربة الإنسانية. وبعض علماء الكونيات يهاجمونها بوصفها انهزامية ومناقضة للتاريخ (نظرًا لأن هذه المقاربة تناقض أمثلة عديدة لنجاح الفيزياء في تفسير مجموعة من الظواهر التي كانت يومًا غامضة عاجلًا أم آجلًا)، وخطيرة؛ لأن المقاربة الإنسانية تحمل مسحة من فرضية التصميم الذكي. إضافة إلى ذلك، يجد العديد من علماء الكونيات أن الافتراض بأننا نعيش في كون متعدد — يحوي عددًا لا حصر له من الأكوان التي لن يمكننا قط التفاعل معها، حتى من الناحية النظرية — أمر غير مقبول كأساس نظرية لوصف الكون.

يوضح الجدل الدائر حول المبدأ الإنساني مدى التشكك الذي يقوم عليه المنهج العلمي لفهم الكون. فالنظرية التي تروق لأحد العلماء عادة يكون هو من ابتكرها، قد تبدو سخيفة، أو خاطئة تمامًا، في نظر آخر. وكلاهما يعلمان أن النظريات تعيش وتنجح حين يجد علماء آخرون أنها تقدم التفسير الأمثل للبيانات التجريبية. (وكما قال عالم شهير ذات مرة: «احذر من النظرية التي تفسر كل البيانات؛ فجزء منها من المرجح جدًّا أن يثبت خطؤه.»)

قد لا يأتي لنا المستقبل بحل سريع لهذا الجدل، لكنه بلا شك سيأتي لنا بمحاولات أخرى لتفسير ما نراه في الكون. على سبيل المثال، أنتج بول شتاينهارت من جامعة برينستون، الذي يمكنه الاستفادة من بعض العون في ابتكار أسماء جذابة، نموذجًا نظريًّا سماه «النموذج المتأجج»، للكون، وذلك بالتعاون مع نيل توروك من جامعة كامبريدج. يتصور شتاينهارت الكون، بدافع من حماسه لأحد أقسام فيزياء الجسيمات يسمى بنظرية الأوتار، على أنه يتكون من أحد عشر بُعدًا، أغلبها «مدمج»، أو بالأحرى مطوي على نفسه كالجورب، بحيث لا يشغل سوى حيز ضئيل من الفضاء. لكن بعض الأبعاد الإضافية لها حجم وأهمية حقيقيان، باستثناء أننا نعجز عن إدراكها لأننا نظل حبيسي الأبعاد الأربعة المألوفة لنا. وإذا تصورنا أن كل الفضاء الموجود في كوننا يشغل غشاءً رقيقًا لا نهاية له (يختزل هذا النموذج أبعاد المكان الثلاثة إلى بعدين فقط)، يمكننا تصور وجود غشاء آخر موازٍ، ثم تخيل هذين الغشاءين وهما يقتربان أحدهما من الآخر ويتصادمان. ينتج عن التصادم الانفجار العظيم، ثم يرتد هذان الغشاءان أحدهما عن

الآخر، ويستمر تاريخ كل منهما في مساره المألوف، وتتولد المجرات والنجوم. وفي النهاية يتوقف الغشاءان عن الابتعاد أحدهما عن الآخر، ويبدآن في الاقتراب أحدهما من الآخر مجددًا، لينتجا انفجارًا آخر في كل منهما. وعلى هذا يكون للكون تاريخ حلقي؛ بحيث يكرر نفسه، على الأقل من حيث الشكل العام، على فترات تقدر بمئات المليارات من الأعوام. بما أن كلمة ekpyrosis باليونانية تعني «التأجج» (ومنها جاءت الكلمة المألوفة أكثر pyromaniac التي تعني الشخص المولع بإشعال النار)، يذكِّر «الكون المتأجج» كل من له معرفة باليونانية بالنار العظيمة التي تولد عنها الكون الذي نعرفه.

مع ما لنموذج الكون المتأجج من جاذبية من الناحيتين العاطفية والعقلية، فإن هذا ليس كافيًا كي يأسر عقول وقلوب العديد من علماء الكونيات زملاء شتاينهارت. ليس بعد على أي حال. ربما يومًا ما سيقدم شيئًا أشبه بالنموذج المتأجج، إن لم يكن هذا النموذج بنفسه، الحل السحري الذي ينتظره علماء الكونيات الآن في محاولاتهم لتفسير الطاقة المظلمة. وحتى مناصرو المقاربة الإنسانية لن يقاوموا أي نظرية جديدة من شأنها تقديم تفسير جيد للثابت الكوني دون الاستعانة بفرضية وجود عدد لا نهائي من الأكوان التي يتصادف أن كوننا هو الكون الوحيد سعيد الحظ منها. وكما جاء على لسان إحدى شخصيات آر كرامب الكرتونية ذات مرة: «يا له من عالم رائع مجنون نعيش فيه! يا للروعة!»

الجزء الثاني

أصل المجرات والبنية الكونية

الفصل السابع

اكتشاف المجرات

منذ قرنين ونصف القرن، قبل أن يبني الفلكي الإنجليزي سير ويليام هيرشل أول تلسكوب كبير عملي، كان الكون المعروف يتألف من لا شيء أكثر من النجوم والشمس والقمر والكواكب وبضعة أقمار للمشتري وزحل، وبعض الأجرام الغائمة، إلى جانب مجرة درب التبانة (أو اللبانة) التي تشبه حزامًا من قطرات اللبن المتساقط عبر سماء الليل. في الحقيقة إن كلمة مجرة أو galaxy بالإنجليزية مشتقة من الكلمة اليونانية galaktos أو اللبن. حملت السماء أيضًا أجسامًا غائمة تسمى علميًّا بالسُّدم أو nebulae، وهي كلمة مشتقة بالإنجليزية من كلمة لاتينية بمعنى السُّحب، وهي أجسام ذات أشكال مبهمة على غرار سديم السرطان في كوكبة الثور، وسديم أندروميدا، الذي يوجد بين نجوم كوكبة أندروميدا.

كان لتلسكوب هيرشل مرآة عرضها ثمانٍ وأربعون بوصة، وهو حجم لم يصل إليه أي تلسكوب حتى ذلك الوقت، في عام ١٧٨٩، حين جرى بناؤه. وقد جعل نظام الروافد المعقد الذي كان يدعم التلسكوب عملية استخدامه عسيرة للغاية، لكن حين وجهه هيرشل إلى السماء استطاع بسهولة أن يرى عددًا لا حصر له من النجوم يؤلف مجرة درب التبانة. تمكن هيرشل وأخته كارولاين — بالاستعانة بالمرآة ذات الثمانية وأربعين بوصة، إلى جانب تلسكوب آخر أصغر وأسهل في الاستخدام — من وضع أول دليل فضائي مصور شامل للسدم الشمالية. واستمر سير جون، ابن سير ويليام هيرشل، في السير على خطى أسرته، وأضاف إلى قائمة السدم الشمالية التي وضعها والده وعمته، ثم أثناء إقامته الطويلة في رأس الرجاء الصالح في الطرف الجنوبي لقارة أفريقيا أدرج نحو ١٧٠٠ جسم غائم يمكن رؤيتها من نصف الكرة الجنوبي. وفي عام ١٨٦٤ جمع سير

جون جميع الأجسام الفضائية المعروفة في مؤلفه «الدليل المصور العام للسدم وعناقيد النجوم»، الذي ضم أكثر من خمسة آلاف مدخل.

بالرغم من البيانات الكثيرة المتاحة عن السدم، لم يعرف أحد في ذلك الوقت ماهيتها الحقيقية، أو مقدار بعدها عن الأرض، أو الاختلافات بين بعضها وبعض. ومع ذلك فقد أتاح الدليل الصادر عام ١٨٦٤ إمكانية تصنيف السدم حسب أشكالها. أطلق الفلكيون، متبعين في ذلك منهج «إننا نسمى الأشياء حسبما نراها» الذي يتبناه حكام لعبة البيسبول (الذين حصلوا على الاعتراف الرسمي في حدود الوقت عينه الذي نشر فيه دليل هيرشل العام)، على السدم ذات الشكل الحلزوني ﺑ «السدم الحلزونية»، أما تلك الشبيهة بالشكل البيضاوي فقد أسموها ﺑ «السدم البيضاوية»، وأطلقوا على السدم العديدة ذات الأشكال غير المنتظمة — التي لا هي حلزونية ولا بيضاوية — اسم «السدم غير المنتظمة». وأخيرًا، أطلقوا على السدم التي بدت صغيرة ومستديرة، مثل الصورة التلسكوبية للكوكب، اسم «السدم الكوكبية»، وهو ما دأب على التسبب في حيرة كبيرة لكل الوافدين الجدد على علم الفلك.

ظل علم الفلك، طوال الجزء الأعظم من تاريخه، علمًا صريحًا، يستخدم طرقًا وصفية في البحث تشبه كثيرًا تلك المستخدمة في علم النبات. وقد عمد الفلكيون، بالاستعانة بقوائم مجموعات النجوم والأجرام الغائمة الآخذة في التزايد، للبحث عن أنماط، ثم صنفوا هذه الأجرام وفقًا لها. وهذه خطوة منطقية أيضًا. فأغلب البشر، منذ الطفولة، يرتبون الأشياء في مجموعات حسب المظهر والشكل، حتى دون أن يُطلب منهم ذلك. بيد أن هذا الأسلوب لن يفيد إلا بدرجة محدودة. وبما أن الأجسام الغائمة تحتل مساحات تبدو بالحجم نفسه تقريبًا في سماء الليل، افترض آل هيرشل أن جميع السدم تقع على نفس المسافة من كوكب الأرض؛ لهذا بدا لهم أن تصنيف جميع السدم باستخدام القواعد نفسها أمر ملائم ومنصف من الناحية العلمية.

لكن المشكلة كانت أن الافتراض بوقوع جميع السدم على نفس المسافة من الأرض كان خطأً كبيرًا. يمكن للطبيعة أن تكون محيرة، بل خداعة أحيانًا. فبعض السدم التي صنفها آل هيرشل ليست أبعد كثيرًا من النجوم؛ لذا فهي أصغر نسبيًّا (هذا إذا أمكن وصف مساحة قدرها تريليون ميل بأنها «أصغر نسبيًّا»). بينما اتضح أن سدمًا أخرى أبعد بكثير؛ لذا لا بد أنها أكبر بكثير من الأجسام الغائمة القريبة نسبيًّا منا إذا كان الاثنان يبدوان بالحجم نفسه في السماء.

الدرس المستفاد هنا هو أنه في نقطة ما عليك التوقف عن التركيز على ما يبدو عليه الشيء، والبدء في التساؤل عن ماهيته. ولحسن الحظ، بحلول القرن التاسع عشر، مكن التقدم العلمي والتكنولوجي الفلكيين من عمل هذا الأمر، وأن يفعلوا ما هو أكثر من مجرد تصنيف محتويات الكون. أدى هذا التحول إلى مولد علم الفيزياء الفلكية، المعنِيِّ بالتطبيق المفيد لقوانين الفيزياء على المواقف الفلكية.

إبان الفترة نفسها التي نشر فيها سير جون هيرشل دليله المصور الواسع عن السدم، انضمت أداة علمية جديدة، هي منظار التحليل الطيفي أو المطياف، إلى رحلة البحث عن السدم. إن وظيفة المطياف الوحيدة هي تحليل الضوء الأبيض إلى ألوانه الأساسية التي يتألف منها. من شأن هذه الألوان، والسمات التي تحملها، ألا تكشف عن التفاصيل الدقيقة للتركيب الكيميائي لمصدر الضوء فقط، بل أن تكشف أيضًا، بفضل الظاهرة المعروفة باسم تأثير دوبلر، عن تحرك مصدر الضوء إما نحو الأرض أو بعيدًا عنها.

كشف التحليل الطيفي عن شيء مذهل: فالسدم الحلزونية، التي تهيمن على النطاق المحيط بمجرتنا، تتحرك جميعها تقريبًا مبتعدة عن كوكب الأرض، وبسرعات كبيرة. وعلى النقيض فإن جميع السدم الكوكبية، إضافة إلى أغلب السدم غير المنتظمة، تتحرك بسرعات بطيئة نسبيًّا؛ البعض منها يتجه نحونا والبعض الآخر يبتعد عنا. هل وقع انفجار كارثي في قلب مجرة درب التبانة متسببًا في طرد جميع السدم الحلزونية؟ إن صح هذا، فلماذا لا ترتد أي منها إلينا مجددًا؟ هل رصدنا هذه الكارثة في وقت خاص؟ على الرغم من التقدم الذي شهده علم التصوير وأنتج لنا سوائل تحميض أسرع، ما مكن الفلكيين من قياس الطيف الضوئي للسدم الأكثر إعتامًا، على الرغم من هذا التقدم تَوَاصَلَ ابتعادُ السدم هذا وظلت هذه الأسئلة دون إجابة.

تحققت أغلب الطفرات في علم الفلك، والعلوم الأخرى، بفضل ظهور أشكال جديدة من التكنولوجيا. وفي مستهل العقد الثالث من القرن العشرين ظهرت أداة جوهرية على الساحة؛ تلسكوب هوكر المهول البالغ قطره ١٠٠ بوصة في مرصد جبل ويلسون بالقرب من باسادينا بكاليفورنيا. وفي عام ١٩٢٣ استخدم الفلكي الأمريكي إدوين بي هابل هذا التلسكوب — الأكبر في العالم في ذلك الوقت — للعثور على نوع جديد من النجوم، المتغير القيفاوي، الموجود في سديم أندروميدا. تتباين شدة سطوع النجوم المتغيرة وفق أنماط معروفة، والنجوم المتغيرة القيفاوية، المسماة على اسم أول نجم اكتُشف من هذه

الطبقة من النجوم، وكان نجمًا في كوكبة الملتهب (قيفاوس)، تتسم بالسطوع الشديد، ومن ثم يمكن رؤيتها من على مسافات بعيدة. ولأن سطوعها يتباين على دورات يمكن تمييزها يستطيع المراقب الحريص اكتشاف عدد كبير منها. وقد وجد هابل عددًا من هذه المتغيرات القيفاوية داخل مجرة درب التبانة، وقدر مسافاتها، بيد أنه دُهش من أن المتغير القيفاوي الذي وجده في أندروميدا كان أخفت بكثير من غيره.

كان التفسير الأرجح لهذا الخفوت هو أن المتغير القيفاوي الجديد، وسديم أندروميدا الذي يوجد فيه، يقع على مسافة أبعد من القيفاويات الأخرى الموجودة في مجرة درب التبانة. أدرك هابل أن هذا يضع سديم أندروميدا على مسافة بعيدة للغاية حتى إنه يستحيل أن يوجد بين نجوم كوكبة أندروميدا، ولا في أي مكان داخل مجرة درب التبانة، ومن المستحيل أيضًا أن يكون قد خرج منها، إلى جانب إخوته من السدم الحلزونية، أثناء الانفجار اللبني الكارثي.

كانت تبعات اكتشاف هابل مذهلة؛ إذ إنه بيَّن أن السدم الحلزونية هي نظم كاملة مستقلة بذاتها من النجوم، وأنها لا تقل عن مجرة درب التبانة في الحجم أو في عدد النجوم. وإذا استعرنا تعبير الفيلسوف إيمانويل كانط يمكن القول إن هابل بَيَّنَ لنا أن عشرات «الجزر الكونية» تقع خارج مجرتنا، خاصة وأن أندروميدا كانت بداية لقائمة من السدم الحلزونية المعروفة. إن سديم أندروميدا، في واقع الأمر، ما هو إلا «مجرة» أندروميدا.

بحلول عام ١٩٣٦ اكتُشف عدد كافٍ من الجزر الكونية، وصورت من خلال التلسكوب هوكر وغيره من التلسكوبات، وهو ما دفع هابل إلى تجربة حظه، هو الآخر، في محاولة تصنيفها حسب الشكل. ارتكن تحليله لأنواع المجرات على الافتراض غير المختبر القائل إن الاختلافات في الشكل من مجرة لأخرى إنما يرمز لمراحل تطورية في حياة المجرة، من المولد وحتى الفناء. وقد صنف هابل، في كتابه الذي صدر عام ١٩٣٦ بعنوان «عالم السُّدم»، المجرات من خلال وضع الأنواع المختلفة على امتداد مخطط أشبه بالشوكة الرنانة، التي يمثل مقبضها المجرات البيضاوية، مع المجرات البيضاوية الكروية عند الطرف الأقصى للمقبض، بينما المجرات البيضاوية المسطحة قرب نقطة التقاء فرعي الشوكة. وعلى امتداد أحد الفرعين توجد المجرات الحلزونية العادية؛ على أن تكون القريبة من المقبض لها أذرع حلزونية ملتفة بإحكام، والقريبة من طرف الفرع لها

أذرع حلزونية مفتوحة أكثر. وعلى الفرع الثاني توجد المجرات الحلزونية التي يظهر في مركزها «قضيب» مستقيم من النجوم، لكنها فيما عدا ذلك تشبه المجرات الحلزونية العادية.

تخيل هابل أن المجرات تبدأ حياتها كمجرات بيضاوية كروية، ثم تصير أكثر تسطحًا مع الوقت، وفي النهاية تظهر بنية حلزونية تبدأ في الانتشار مع مرور الوقت. فكرة عبقرية، جميلة، وأنيقة. لكنها خاطئة تمامًا. فهذا النظام لا يتغاضى عن مجموعات كاملة من المجرات غير المنتظمة وحسب، بل إن علماء الفيزياء عرفوا لاحقًا أن أقدم النجوم في كل مجرة كانت جميعها لها العمر نفسه، وهو ما يعني أن المجرات جميعها ولدت إبان حقبة وحيدة من تاريخ الكون.

لثلاثة عقود (مع ضياع بعض فرص البحث بسبب الحرب العالمية الثانية)، رصد الفلكيون وسجلوا مواقع المجرات بما يتوافق ومخطط شوكة هابل الرنانة كمجرات بيضاوية وحلزونية وحلزونية قضيبية، مع وضع العدد القليل من المجرات غير المنتظمة كمجموعة فرعية، تقع خارج المخطط تمامًا بسبب أشكالها الغريبة. بالنسبة للمجرات البيضاوية يمكن أن نقول عنها نفس ما قاله رونالد ريجان عن أشجار كاليفورنيا الحمراء: إن رأيت واحدة فقد رأيتها كلها. تشبه المجرات البيضاوية بعضها بعضًا من حيث إنها لا تملك تلك الأذرع الحلزونية المميزة للمجرات الحلزونية، ولا السحابة العملاقة من الغاز والغبار النجمي التي تتولد منها النجوم الجديدة. ففي تلك المجرات انتهى تكون النجوم منذ مليارات الأعوام، وما تبقى هو مجموعات من النجوم تأخذ شكلًا بيضاويًّا أو كرويًّا. تحتوي أكبر المجرات البيضاوية، شأن أكبر المجرات الحلزونية، على مئات المليارات من النجوم في كل مجرة منها — بل قد يصل العدد إلى تريليون نجم أو أكثر — ويمتد قطرها لمئات الآلاف من السنوات الضوئية. وباستثناء الفلكيين المحترفين، لم يتلهف أحد لمعرفة تاريخ الأنماط الرائعة والتكوينات المعقدة من النجوم في المجرات البيضاوية؛ وذلك لسبب وجيه هو أن المجرات البيضاوية — على الأقل مقارنة بالمجرات الحلزونية — أشكالها بسيطة، وعملية تكون النجوم بها مفهومة: فجميعها حولت الغاز والغبار الموجود بها إلى نجوم، إلى أن توقفت عن فعل هذا تمامًا.

على العكس من ذلك نجد أن المجرات الحلزونية والحلزونية القضيبية تمدنا بالإثارة البصرية التي تفتقر إليها المجرات البيضاوية. وأكثر صورة قد تستثير مشاعرنا من صور المجرات التي قد نراها يومًا ستكون صورة مجرتنا، درب التبانة، الملتقطة من

خارجها؛ فمن المؤكد أنها ستحرك قلوبنا وعقولنا، لكن هذا لن يحدث إلا حين نتمكن من إرسال كاميرا تصوير لمسافة مئات الآلاف من السنوات الضوئية أعلى أو أدنى من السطح المستوي لمجرتنا. لكن اليوم، حيث لم تقطع أبعد مجساتنا الفضائية إلا واحدًا على مليار من هذه المسافة، يبدو هذا الهدف بعيد المنال، وفي الواقع حتى المجس القادر على التحرك بسرعة تقارب سرعة الضوء سيتطلب منا انتظارًا طويلًا — أطول بكثير من تاريخ البشرية المدون بأسره — كي يمدنا بالنتائج المرغوبة. وفي الوقت الحالي على الفلكيين الاستمرار في رسم خريطة مجرتنا من الداخل، بحيث يرسمون غابتنا الكونية من خلال فك طلاسم أشجارها النجمية والسديمية. تكشف هذه الجهود عن أن مجرتنا تشبه كثيرًا أقرب جاراتها؛ مجرة أندروميدا الحلزونية العملاقة. لقد أمدتنا مجرة أندروميدا — بفضل وقوعها على مسافة قريبة قدرها ٢٫٤ مليون سنة ضوئية — بثروة من المعلومات بخصوص الأنماط البنيوية الأساسية للمجرات الحلزونية، إضافة إلى أنواع النجوم المختلفة ومراحل تطورها. ولأن جميع نجوم مجرة أندروميدا تبعد بنفس المسافة عنا (بزيادة أو نقصان بنسبة مئوية بسيطة)، يدرك الفلكيون أن اللمعان الظاهري للنجوم يرتبط مباشرة بسطوعها؛ أي مقدار الطاقة التي تبعثها كل ثانية. مكنت هذه الحقيقة — التي لا تفيد الفلكيين عند دراسة الأجرام الموجودة في مجرة درب التبانة، لكنها قابلة للتطبيق مع كل المجرات خلاف مجرتنا — الفلكيين من استخلاص نتائج جوهرية بشأن تطور النجوم بسهولة أكبر مما هو الحال مع النجوم الموجودة في مجرتنا درب التبانة. إضافة إلى ذلك وفرت لنا المجرتان البيضاويتان التابعتان اللتان تدوران حول مجرة أندروميدا — اللتين تحتوي كل منهما على نسبة مئوية بسيطة من النجوم الموجودة في المجرة الرئيسية — معلومات مهمة بشأن حياة النجوم والبنية المجرية الكلية للمجرات البيضاوية. وفي ليلة صافية بعيدًا عن أضواء المدينة يستطيع المراقب قوي الملاحظة — الذي يدري أين ينبغي أن ينظر — تحديد الشكل الخارجي العام لمجرة أندروميدا؛ أبعد شيء يمكن رصده بالعين المجردة، وهي تشع ضوءًا خرج منها بينما كان أسلافنا يجوبون أرجاء أفريقيا بحثًا عن جذور النباتات وثمار العليق.

إن مجرة أندروميدا، مثل درب التبانة، تقع في منتصف المسافة على امتداد أحد فرعي شوكة هابل الرنانة؛ لأن أذرعها الحلزونية ليست بالمغلقة أو المفتوحة. لو كانت المجرات حيوانات موضوعة في حديقة حيوانات فسيكون هناك قفص واحد للمجرات البيضاوية، وأقفاص عديدة للمجرات الحلزونية البهية. إن دراسة صور تلسكوب هابل

الخاصة بإحدى هذه المجرات، في المعتاد تلك الواقعة على بعد ١٠ أو ٢٠ سنة ضوئية (للمجرات القريبة)، تفتح الباب لعالم من الاحتمالات الغنية؛ عالم بعيد للغاية عن الحياة الموجودة على سطح الأرض، عالم ذي بنية معقدة قد تجعل العقل غير المتأهب لها يتحير، أو يدافع عن نفسه بتذكير صاحبه بأن أيًّا من هذه الأشياء لن يفيد في إنقاص وزن أو شفاء كسر.

تُشكل المجرات غير المنتظمة؛ أيتام نظام التصنيف المجري، نحو ١٠ بالمائة من جميع المجرات، بينما تنقسم النسبة المتبقية بين المجرات الحلزونية والبيضاوية، مع أفضلية واضحة للمجرات الحلزونية. المجرات غير المنتظمة، خلاف البيضاوية، تحتوي عادة على نسب من الغاز والغبار أعلى من المجرات الحلزونية، وهي بهذا أنشط المواقع التي تتكون بها النجوم على نحو متواصل. تدور حول مجرة درب التبانة مجرتان تابعتان كبيرتان تسميان، على نحو قد يثير الحيرة، بسحابتي ماجلان؛ لأن أول من رصدهما من البيض — وكانوا بحارة في رحلة ماجلان التي دار فيها حول الأرض في عام ١٥٢٠ — ظنوا في البداية أنهم يرون خيوطًا من السحب في السماء. حظيت رحلة ماجلان بهذا الشرف لأن سحابتي ماجلان تقعان بالقرب من القطب الجنوبي السماوي (النقطة التي تعلو القطب الجنوبي لكوكب الأرض مباشرة) ولا ترتفعان قط فوق الأفق للراصدين الموجودين في دوائر العرض الشمالية الأكثر ازدحامًا بالسكان، بمن في ذلك الموجودون في أوروبا وغالبية الولايات المتحدة الأمريكية. تحوي كل واحدة من سحابتي ماجلان مليارات عدة من النجوم، لكن عددها لا يصل إلى مئات المليارات مثلما هو الحال في مجرة درب التبانة وغيرها من المجرات الكبيرة، كما تظهر بها أيضًا مناطق كثيفة لتكون النجوم، أبرزها «سديم العنكبوت» الموجود في سحابة ماجلان الكبرى. لهذه المجرة أيضًا شرف الكشف عن أكثر المستعرات العظمى سطوعًا على مدار الثلاثة قرون الماضية، المسمى بالمستعر الأعظم ١٩٨٧ إيه، الذي لا بد أنه انفجر قبل الميلاد بمائة وستين ألف عام تقريبًا حتى يصل ضوءه الأرض عام ١٩٨٧.

حتى الستينيات كان الفلكيون قانعين بتصنيف كل المجرات إلى مجرات حلزونية أو حلزونية قضيبية أو بيضاوية أو غير منتظمة. وكانوا محقين في ذلك؛ إذ إن أكثر من ٩٩ بالمائة من المجرات كافة كانت تندرج تحت هذه الأنواع. (وفي ظل وجود مجموعة منها تحمل اسم «مجرات غير منتظمة»، تبدو هذه النتيجة مؤكدة.) لكن خلال ذلك العقد الجميل، صار الفلكي الأمريكي هالتون آرب مناصرًا للمجرات التي لم تتوافق مع

هذا التصنيف البسيط المكون من شوكة هابل الرنانة إلى جانب المجرات غير المنتظمة. استخدم آرب — متحليًا بروح كلمات القصيدة المنقوشة على تمثال الحرية التي تقول: «إليَّ بالجماهير المتعبة المسكينة المحتشدة» — أكبر تلسكوبات العالم، التلسكوب هال البالغ قطر مرآته ٢٠٠ بوصة الموجود في مرصد بالومار بالقرب من سان دييجو بكاليفورنيا، لتصوير ٣٣٨ من الأنظمة النجمية المشوهة بشكل كبير. وسرعان ما صار «أطلس آرب للمجرات الغريبة»، المنشور في عام ١٩٦٦، صندوق كنز حقيقي من الفرص البحثية لكل شيء سيئ يمكن أن يحدث في الكون. ومع أن «المجرات الغريبة» — المعروفة على أنها تلك المجرات ذات الأشكال العجيبة حتى إن صفة «غير منتظمة» لا تفيها حقها — لا تشكل سوى نسبة ضئيلة من كل المجرات، فإنها تحمل معلومات مهمة بشأن ما يمكن أن يحدث للمجرات حين لا تسير الأمور على نحو سليم. وقد اتضح، مثلًا، أن العديد من المجرات الغريبة الموجودة في أطلس آرب هي اندماج لبقايا مجرتين منفصلتين اصطدمت إحداهما بالأخرى. هذا يعني أن تلك المجرات «الغريبة» ليست أنواعًا مختلفة من المجرات، تمامًا مثلما لا نعتبر السيارة اللكزس المحطمة نوعًا جديدًا من السيارات.

لتتبع ما ينجم عن مثل هذه الاصطدامات ستحتاج إلى أكثر من مجرد ورقة وقلم رصاص؛ لأن كل نجم في كلا النظامين المجريين له جاذبيته الخاصة، التي تؤثر في الوقت نفسه على بقية النجوم الموجودة في المجرتين. إن ما تحتاجه، باختصار، هو حاسب آلي. اصطدام المجرات بعضها ببعض حدث درامي جليل، يستغرق مئات الملايين من الأعوام من بدايته حتى نهايته. وباستخدام المحاكاة الحاسوبية يمكنك بدء عملية اصطدام بين مجرتين، أو وقفها مؤقتًا، ثم التقاط صور لما سيحدث بعد ١٠ ملايين عام، أو ٥٠ مليون عام، أو ١٠٠ مليون عام. في كل مرة ستبدو الأمور مختلفة. وحين تدلف إلى أطلس آرب — مكان تجمع هذه المجرات — ستجد في مكان ما اصطدامًا في مرحلة مبكرة، وآخر في مرحلة متأخرة، واصطدام خفيف عابر، وآخر مباشر عنيف.

مع أن أولى عمليات المحاكاة الحاسوبية جرت في أوائل الستينيات (ومع أن الفلكي السويدي إريك هولمبرج أجرى محاولة بارعة في الأربعينيات لإعادة تخليق اصطدام مجري على سطح طاولة باستخدام الضوء كمكافئ للجاذبية)، فإننا انتظرنا حتى عام ١٩٧٢ لينتج لنا الأخَوان آلار ويوري تومر، اللذان يدرِّسان في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، أول صورة مقنعة لاصطدام «مبسط بشكل متعمد» بين مجرتين حلزونيتين. كشف نموذج

الشقيقين تومر عن أن قوى المد — أي الاختلافات في الجاذبية من مكان لآخر — مزقت المجرتين إربًا. وبينما تقترب إحدى المجرتين من الأخرى، تزداد قوة الجاذبية بدرجة كبيرة عند أطراف الاصطدام، مسببة تمدد المجرتين وتشويههما وإحداهما تمر بجوار الأخرى أو عبرها. هذا التمدد والتشويه مسئولان عن أغلب الحالات الغريبة المذكورة في أطلس آرب للمجرات الغريبة.

كيف يمكن أيضًا للمحاكاة الحاسوبية أن تساعدنا على فهم المجرات؟ تميز شوكة هابل الرنانة بين المجرات الحلزونية «العادية» والمجرات الحلزونية التي يظهر بها قضيب كثيف من النجوم في مركزها. تبين المحاكاة أن هذا القضيب يمكن أن يكون ملمحًا انتقاليًّا، وليس علامة مميزة لنوع مغاير من المجرات. إن راصدي المجرات القضيبية المعاصرين ربما رصدوا هذه المجرات في مرحلة من حياتها قد تنتهي في غضون ١٠٠ مليون عام أو نحو ذلك. لكن بما أننا لن نستطيع الانتظار حتى تختفي هذه القضبان، فسيتحتم علينا مشاهدتها وهي تختفي على الحاسب الآلي، حيث يمكن أن تمضي مليارات الأعوام في غضون دقائق قليلة.

لقد ثبت أن مجرات آرب الغريبة ما هي إلا قمة جبل جليد لعالم عجيب من أشباه المجرات، التي بدأ الفلكيون في تمييز أشكالها خلال الستينيات، وبدءوا يفهمونها بعد ذلك بعقود. لكن قبل الانشغال بحديقة الحيوان المجرية الجديدة هذه، علينا استئناف قصة التطور الكوني من حيث تركناها. علينا دراسة أصل المجرات جميعها — العادية وشبه العادية وغير المنتظمة والغريبة وفائقة الغرابة — لنعرف كيف ولدت، وكيف أسعدنا الحظ بالوجود في موقع هادئ نسبيًّا في الفضاء، على أطراف مجرة حلزونية عملاقة، على بعد ٣٠ ألف سنة ضوئية من مركزها وعشرين ألف سنة ضوئية من حافتها الخارجية المشتتة. وبفضل النظام العام للمجرة الحلزونية، الذي انطبق أولًا على السحب الغازية التي تولدت عنها النجوم، تتحرك شمسنا في مدار شبه دائري حول مركز مجرة درب التبانة، قاطعة كل رحلة خلال ٢٤٠ مليون عام (وهي المدة التي تسمى أحيانًا بـ «السنة الكونية»). واليوم، بعد أن قطعت الشمس عشرين رحلة كهذه منذ مولدها، من المفترض أن تتمكن من القيام بعشرين رحلة أخرى قبل أن ينتهي أجلها. لكن في الوقت الحالي، دعونا نلق نظرة على نشأة المجرات.

الفصل الثامن

أصل البنية الكونية

عند دراسة تاريخ المادة في الكون، بالنظر عبر ١٤ مليار عام بأفضل ما نستطيع، سريعًا ما نقابل نزعة وحيدة ظاهرة تحتاج للتفسير؛ ففي كل أرجاء الكون نظمت المادة نفسها في تجانس على صورة بُنى. فقد تكتلت المادة بعضها مع بعض في أحجام مختلفة، بعد أن انتشرت عبر الكون كله في تجانس عقب الانفجار العظيم، كي تنتج عناقيد مجرية كبيرة وأخرى فائقة، إضافة إلى المجرات الموجودة داخل هذه العناقيد، والنجوم المتجمعة بالمليارات داخل كل مجرة، إلى جانب أجسام أخرى أصغر بكثير — كالكواكب والأقمار التابعة لها والكويكبات والمذنبات — التي تدور حول أغلب هذه النجوم إن لم يكن كلها.

كي نفهم بداية جميع الأجرام التي تؤلف الكون الذي نراه علينا التركيز على الآلية التي حولت المادة المنتشرة عبر الكون إلى مكونات ذات بنية معقدة. ويتطلب منا التوصيف الكامل للكيفية التي ظهرت بها البنية في الكون الخوض في جانبين من جوانب الطبيعة لا يزالان إلى اليوم يستعصيان على الفهم. فكما رأينا في الفصول السابقة، علينا التوصل للكيفية التي تتوافق بها ميكانيكا الكم، التي تصف سلوك الجزيئات والذرات والجسيمات المكونة لها، مع نظرية النسبية العامة، التي تصف الكيفية التي تؤثر بها التجميعات الضخمة من المادة والفضاء أحدهما على الآخر.

بدأت محاولات التوصل إلى نظرية واحدة توحد معارفنا بالجسيمات الصغيرة دون الذرية والأجرام الفلكية مهولة الحجم مع أينشتاين. وقد استمرت، دون نجاح يذكر، إلى وقتنا هذا، وستستمر في المستقبل إلى أن تصل إلى «التوحيد الكامل». من أكثر ما يثير ضيق علماء الكونيات المعاصرين افتقارهم إلى نظرية تمزج بنجاح بين ميكانيكا الكم والنسبية العامة. في الوقت ذاته، فإن فرعي الفيزياء اللذين يتعذر المزج بينهما هذين — علم أصغر الجسيمات وعلم أكبر الأجرام — يبدو أنهما لا يكترثان البتة بجهلنا هذا؛ إذ

يتعايشان معًا بنجاح مدهش داخل الكون نفسه، ساخرين من محاولاتنا لفهمهما ككل متجانس. فالمجرة التي تحوي المائة مليار نجم لا تلقي أي بال لفيزياء الذرات والجزيئات التي تتألف منها المجموعات النجمية والسحب الغازية، والأمر نفسه ينطبق على التكتلات الأكبر من المادة التي نسميها بالعناقيد المجرية والعناقيد المجرية الفائقة، التي تحوي مئات وأحيانًا آلاف المجرات. لكن هذه البُنى الضخمة في الكون تدين بوجودها ذاته للتفاوتات الكمية متناهية الصغر التي وجدت داخل الكون البدائي. ولفهم كيف نشأت هذه البُنى علينا بذل قصارى جهدنا بالرغم من حالة الجهل التي نعيش بها اليوم، بحيث ننتقل من النطاقات الصغيرة التي تهيمن عليها ميكانيكا الكم إلى النطاقات الأكبر التي لا تلعب ميكانيكا الكم فيها أي دور، حيث تستجيب المادة لقوانين النسبية العامة.

لتحقيق هذا الغرض علينا البحث عن تفسير للكيفية التي ظهر بها الكون الغني بالبُنى التي نراها اليوم من ذلك الكون عديم الملامح تقريبًا الذي وُجِدَ بعد الانفجار العظيم بوقت ضئيل. أيضًا يجب على أي محاولة لتفسير بداية البنية الكونية أن تفسر بالمثل الحالة التي عليها الكون اليوم. وحتى هذه المهمة المتواضعة أربكت علماء الكونيات والفلك بسلسلة من البدايات الخاطئة والسقطات التي (كما نأمل) تحررنا منها، وبدأنا في السير على الطريق السليم لوصف الكون على نحو صحيح.

طوال الجزء الأكبر من تاريخ علم الكونيات الحديث افترض الفيزيائيون الفلكيون أن توزيع المادة في الكون يمكن وصفه بصفتين هما: التطابق وتوحد الخصائص. يعني التطابق أن كل موضع في الكون يبدو مشابهًا لغيره من المواضع، مثل محتويات كوب اللبن المتجانس. أما توحد الخصائص فيعني أنه يبدو على الصورة نفسها في كل اتجاه من أي نقطة في المكان والزمان. قد يبدو الوصفان متطابقين، لكن هذا ليس صحيحًا. على سبيل المثال لا يمكن وصف خطوط الطول على كوكب الأرض بالتطابق؛ لأنها تبتعد بعضها عن بعض في بعض المناطق وتتقارب في مناطق أخرى، وهي متحدة الخصائص في مكانين فقط هما: القطب الشمالي والقطب الجنوبي، حيث تتجمع كل خطوط الطول. وإذا وقفت على «قمة» العالم أو «قاعه»، فستبدو شبكة خطوط الطول متماثلة في نظرك، مهما أدرت رأسك يمينًا ويسارًا. في مثال آخر ملموس أكثر، تخيل نفسك واقفًا على قمة جبل مخروطي مثالي، وتخيل أن هذا الجبل هو الشيء الوحيد الموجود في العالم. وقتها سيبدو كل منظور لسطح الأرض من هذا الموضع العالي متماثلًا. الأمر عينه يصح لو كنت تعيش في مركز لوحة تصويب السهام أو لو كنت عنكبوتًا يقف في مركز شبكته

المثالية. ففي كل هذه الحالات سيتسم منظورك بتوحد الخصائص، لكنه لن يكون متطابقًا بالضرورة.

من أمثلة النمط المتطابق لكن غير متحد الخصائص الجدار المبني من قوالب طوب مستطيلة متماثلة، والمرصوصة بطريقة البناء التقليدية على نحو متداخل. على مستوى عدة قوالب متجاورة وما يضمها من ملاط سيبدو الجدار متماثلًا في كل مكان — من قوالب طوب — لكن خطوط البصر على امتداد الجدار ستكون متقطعة، نافية أي إمكانية لتوحد الخصائص.

المثير للاهتمام (لهؤلاء الذين يحبون هذا النوع من الإثارة) هو أن التحليل الرياضي يخبرنا أن الفضاء لن يكون متطابقًا إلا إذا كان متوحد الخصائص في كل مكان. كما تخبرنا نظرية رياضية أخرى بأنه لو كان الفضاء متوحد الخصائص في ثلاثة أماكن وحسب، فسيكون متوحد الخصائص في كل مكان آخر. ومع هذا ينأى البعض منا عن الرياضيات بدعوى أنها غير مثيرة للاهتمام وغير مثمرة.

مع أن علماء الكونيات كانوا مدفوعين بدافع جمالي للافتراض بأن توزيع المادة في الكون متطابق ومتوحد الخصائص، فإنهم آمنوا بهذا الافتراض بما يكفي لترسيخه كمبدأ كوني جوهري. بوسعنا أن نسمي هذا بمبدأ عدم التميز: فلماذا يتسم أحد أجزاء الكون بأنه أكثر إثارة للاهتمام من جزء آخر؟ على مستوى المسافات والأحجام الصغيرة، يتضح لنا دون جهد خطأ هذا الافتراض. فنحن نعيش على سطح كوكب صلب يبلغ معدل كثافة المادة فيه ٥٫٥ جرام في السنتيمتر المكعب (أي بالمقاييس الأمريكية حوالي ٣٤٠ رطلًا في القدم المكعب). أما شمسنا، وهي نجم عادي، فلها متوسط كثافة يبلغ حوالي ١٫٤ جرامًا في السنتيمتر المكعب، بينما الفضاء بيننا وبين الشمس له متوسط كثافة ضئيل للغاية؛ أقل بنحو واحد على مليار التريليون مرة. إن الفضاء النجمي، الذي يشغل القدر الأعظم من حجم الكون، يحتوي على أقل من ذرة وحيدة لكل عشرة سنتيمترات مكعبة. وهنا ينخفض متوسط الكثافة بين النجوم مليار مرة أخرى عن متوسط الكثافة بين الكواكب.

مع اتساع أفق الفيزيائيين الفلكيين رأوا بوضوح أن مجرة مثل درب التبانة تتكون من نجوم تطفو في فضاء نجمي شبه خاوٍ. تتجمع المجرات بالمثل في عناقيد مجرية بشكل يخرق الافتراض بتطابق الكون وتوحد خصائصه. ومع استمرار الفيزيائيين الفلكيين في تحديد مواضع المادة المرئية على المستويات الأعظم، ظل الأمل موجودًا في أنهم سيجدون

أن العناقيد المجرية لها توزيع يتسم بالتطابق وتوحد الخصائص. كي تتسم منطقة ما من الفضاء بالتطابق وتوحد الخصائص، يجب أن تكون من الكبر بحيث لا توجد البُنى (أو تغيب) على نحو متفرد داخلها. وإذا اقتطعت شريحة من هذه المنطقة، تعني سمتا التطابق وتوحد الخصائص أن السمات الإجمالية للمنطقة يجب أن تكون متشابهة من كل الجوانب مع سمات أي منطقة أخرى لها الحجم عينه. وكم سنشعر بالحرج لو اتضح أن النصف الأيمن من الكون يبدو مختلفًا عن النصف الأيسر.

ما حجم المنطقة التي علينا دراستها للعثور على كون متطابق متوحد الخصائص؟ لكوكب الأرض قطر يبلغ ٠٫٠٤ ثانية ضوئية، بينما يبلغ قطر مدار كوكب نبتون ٨ ساعات ضوئية. تشكل نجوم مجرة درب التبانة قرصًا عريضًا مسطحًا قطره قرابة ١٠٠ ألف سنة ضوئية، بينما يمتد عنقود العذراء المجري، الذي تنتمي إليه مجرتنا، لما يقارب ٦٠ مليون سنة ضوئية. على هذا يكون الحجم المرغوب الذي يمكنه أن يمدنا بالتطابق وتوحد الخصائص أكبر من حجم عنقود العذراء المجري. حين أجرى الفيزيائيون الفلكيون دراساتهم عن توزيع المجرات في الفضاء اكتشفوا أنه حتى على مستويات الحجم هذه، التي تصل إلى ١٠٠ مليون سنة ضوئية، يكشف الكون عن فجوات هائلة خاوية، محاطة بمجرات نظمت نفسها على شكل خيوط وألواح متقاطعة. وهكذا يبدو توزيع المجرات على هذا المستوى أقرب إلى اللوفة الإسفنجية عن كثيب النمل المكتظ.

لكن في نهاية المطاف صنع الفيزيائيون الفلكيون خرائط أكبر، ووجدوا ضالتهم المنشودة من التطابق وتوحد الخصائص. فقد اتضح أن محتويات الشريحة الكونية بعرض ٣٠٠ مليون سنة ضوئية تشبه في واقع الأمر الشرائح الأخرى المماثلة في الحجم، وهو ما أوفى أخيرًا بالمعيار الجمالي الذي طال البحث عنه في الكون. لكن، بطبيعة الحال، على المستويات الأصغر، تتوزع المادة في تجميعات متمايزة غير متطابقة وغير متوحدة الخصائص.

منذ ثلاثة قرون، فكر نيوتن في مسألة كيفية اكتساب المادة للبنية. كان من السهل على عقله المبدع اعتناق فكرة الكون المتطابق متوحد الخصائص، لكن هذا أثار قضية أخرى قد لا تخطر على بال أغلبنا: كيف يمكن تكوين أي بُنى على الإطلاق في الكون دون أن تتحد كل المادة الموجودة في الكون كي تكون كتلة واحدة عملاقة؟ وقد زعم نيوتن أنه بما أننا نعجز عن رصد مثل هذه الكتلة، فالكون إذن غير محدود. وفي عام ١٦٩٢ كتب نيوتن إلى ريتشارد بنتلي، رئيس كلية ترينيتي بجامعة كامبريدج، طارحًا الفكرة التالية:

إذا كانت كل المادة الموجودة في الكون موزعة بالتساوي عبر السماء، وكان لكل جزيء جاذبيته الخاصة نحو بقية الجزيئات، وكان الفضاء الذي توجد فيه هذه المادة محدودًا، فستجنح المادة الموجودة في الخارج، بفعل جاذبيتها، نحو المادة الموجودة بالداخل، ثم بالتبعية تندفع نحو منتصف هذا الفضاء الكلي بحيث تتكون كرة عظيمة من الكتلة. لكن لو كانت المادة موزعة بتساوٍ على امتداد فضاء غير محدود، فلن تتجمع مطلقًا في كتلة واحدة، بل سيتجمع جزء منها في كتلة ما وجزء آخر في كتلة أخرى حتى يتكون عدد لا حصر له من الكتل العظيمة، الموزعة على مسافات كبيرة بعضها من بعض على امتداد هذا الفضاء غير المحدود.

افترض نيوتن أن هذا الكون غير المحدود لا بد أن يكون ساكنًا، بحيث لا يتمدد أو ينكمش. وفي هذا الكون «تتجمع» الأجسام بفعل قوى الجاذبية؛ أي الجذب الذي يمارسه كل جسم ذي كتلة على غيره من الأجسام. إن استنتاج نيوتن الخاص بدور الجاذبية المحوري في تكوين البُنى يظل صحيحًا إلى اليوم، مع أن علماء الكونيات يواجهون مهمة أصعب بكثير من تلك التي كان بصددها. فنحن لا نملك ترف التمتع بفوائد الكون الساكن، وعلينا أن نضع في الحسبان حقيقة أن الكون في تمدد متواصل منذ الانفجار العظيم، وهو ما يقاوم بطبيعته أي ميل لدى المادة للتكتل بفعل الجاذبية. تصير مشكلة التغلب على طبيعة الكون المتمدد المقاوم لتجميع المادة أصعب حين نأخذ بعين الاعتبار أيضًا حقيقة تمدد الكون بسرعة كبيرة عقب الانفجار العظيم مباشرة، وهي الفترة التي بدأت فيها البُنى في التكون. من الوهلة الأولى لن يسعنا الاعتماد على الجاذبية في تكوين أجسام ضخمة من الغازات الرقيقة بأكثر مما يمكننا الاعتماد على استخدام الجاروف في نقل مجموعة من البراغيث عبر فناء مزرعة. ومع ذلك فقد نجحت الجاذبية في عمل هذا.

خلال الأيام الأولى من عمر الكون تمدد الكون بسرعة كبيرة حتى إنه لو كان الكون متطابقًا ومتوحد الخصائص على جميع مستويات الحجم، لم تكن الجاذبية لتحظى بأدنى فرصة للنجاح في عملها، ولم يكن للمجرات أو النجوم أو الكواكب أو البشر أي وجود اليوم، وإنما كانت ستوجد فقط مجموعة من الذرات الموزعة في كل مكان من الكون؛ كون كئيب ممل، خالٍ من المعجبين ومن أي شيء يثير الإعجاب. لكن كوننا كون مسلٍّ مثير للاهتمام؛ هذا بسبب انعدام التطابق والاتساق الذي ظهر خلال هذه اللحظات الأولى من عمر الكون، الذي عمل كحساء كوني فاتح للشهية لكل تركيزات المادة والطاقة

التي ستظهر لاحقًا. ودون هذه البداية كان الكون سريع التمدد سيمنع الجاذبية من تجميع المادة في البُنى المألوفة التي نأخذها كأمور مسلم بها في كوننا اليوم.

ما الذي سبب هذه الانحرافات؟ انعدام التطابق والاتساق الذي أمد الكون ببذور كافة البُنى الموجودة فيه؟ تأتينا الإجابة من عالم ميكانيكا الكم، الذي لم يحلم إسحاق نيوتن بوجوده لكن يتحتم علينا الاستعانة به لو كنا نأمل في فهم من أين أتينا. تخبرنا ميكانيكا الكم بأنه على أصغر مستويات الحجم لا يمكن لأي توزيع للمادة أن يظل متطابقًا ومتوحد الخصائص. بدلًا من ذلك ستظهر تفاوتات عشوائية في توزيع المادة ثم تختفي ثم تظهر مجددًا بكميات مختلفة، بينما تصير المادة كتلة مرتجفة من الجسيمات التي تختفي ثم تولد من جديد. وفي أي وقت بعينه ستحوي بعض مناطق الفضاء جسيمات أكثر، ومن ثم ستكون كثافتها أعلى، من المناطق الأخرى. وانطلاقًا من هذا المفهوم الخيالي المعارض للبديهة يمكننا اشتقاق كل شيء موجود. سنحت للمناطق الأعلى كثافة بقليل الفرصة لجذب المزيد من الجسيمات بفعل الجاذبية، ومع الوقت تحولت هذه المناطق الكونية الأعلى كثافة إلى بُنى.

في مسعانا لتتبع نمو البنية الكونية بعد الانفجار العظيم بقليل يمكننا الحصول على بعض الرؤى من فترتين من الفترات الزمنية التي قابلناها من قبل؛ «فترة التضخم»، التي تمدد فيها الكون بمعدل مذهل، و«وقت الانفصال»، حوالي ٣٨٠ ألف عام بعد الانفجار العظيم، حين توقف إشعاع الخلفية الكوني عن التفاعل مع المادة.

استمرت فترة التضخم ما بين $١٠^{-٣٧}$ ثانية و$١٠^{-٣٣}$ ثانية بعد الانفجار العظيم. وخلال هذه الفترة الوجيزة تمدد نسيج الزمان والمكان أسرع من الضوء؛ إذ نما في غضون واحد على مليار تريليون تريليون من الثانية من حجم أصغر من حجم البروتون بمائة مليار مليار مرة إلى ما يقارب الأربع بوصات. أجل، كان الكون القابل للرصد لا يزيد في الحجم عن ثمرة الجريب فروت. لكن ما الذي سبب هذا التضخم الكوني؟ حدد علماء الكونيات المتهم الرئيسي المتسبب في هذا: عملية «تحول طوري» تركت بصمتها المحددة القابلة للرصد في إشعاع الخلفية الكوني.

لا يقتصر التحول الطوري على علم الكونيات وحسب، بل كثيرًا ما يحدث في منازلنا. فنحن نجمد الماء السائل لنصنع مكعبات من الثلج، كما نغلي الماء لننتج البخار. والماء المحلى بالسكر ينتج بلورات من السكر تتجمع على الخيط المدلى داخله. كما يتحول المخيض الطري الثخين إلى كعكة عند خبزه في الفرن. هناك نمط شائع في كل هذه

العمليات؛ ففي كل حالة تبدو الأمور مختلفة قبل حدوث عملية التحول الطوري عن الحال بعدها. يؤكد نموذج التضخم الكوني على أنه حين كان الكون وليدًا، مر مجال الطاقة العام بمرحلة تحول طوري، وهي مرحلة واحدة من المراحل المتعددة التي كان بالإمكان حدوثها في تلك الأوقات المبكرة من عمر الكون. هذه المرحلة بعينها لم تتسبب في انطلاق عملية التمدد السريع المبكر للكون وحسب، بل خصبت الكون بنمط خاص من التفاوت بين المناطق ذات الكثافة العالية والمنخفضة. هذه التفاوتات تجمدت بعد ذلك في نسيج الفضاء المتمدد، تاركة مخططًا تمهيديًّا بالأماكن التي ستتكون فيها المجرات في نهاية المطاف. وهكذا صار بمقدورنا، على غرار شخصية بوه-باه، إحدى شخصيات أوبرا «ميكادو» لجيلبرت وسوليفان، الذي تمكن بفخر من تتبع شجرة عائلته وصولًا إلى «كرية ذرية بدائية»، أن نعزو أصلنا، وبداية البنية الكونية كلها، إلى التفاوتات التي وقعت على المستوى دون النووي إبان فترة التضخم.

ما الحقائق التي يمكننا الاستشهاد بها لدعم هذا التأكيد الجريء؟ بما أن علماء الكونيات لا يملكون سبيلًا لرؤية ما كانت عليه الأمور في أول $١٠^{-٣٧}$ ثانية من عمر الكون، فهم يفعلون ثاني أفضل شيء ممكن، وهو استخدام المنطق العلمي لربط هذه الفترة المبكرة بأوقات أخرى يمكننا رصدها. إذا كانت نظرية التضخم صحيحة، فإن التفاوتات الأولية المنتَجة إبان هذه الفترة، النتيجة التي تحتم ميكانيكا الكم حدوثها — والتي تخبرنا بأن الانحرافات الطفيفة من مكان لآخر لا بد أن تظهر داخل أي سائل متطابق متوحد الخصائص — ستسنح لها الفرصة كي تكوِّن مناطق من التركيزات المرتفعة والمنخفضة من المادة والطاقة. ويمكننا أن نأمل في العثور على دليل على هذه التفاوتات من مكان لآخر في إشعاع الخلفية الكوني، الذي يمكن تشبيهه بالجزء الأمامي من خشبة المسرح، والذي يفصل فترتنا الحالية عن اللحظات الأولى من عمر الكون الوليد، ويصلنا بها في الوقت ذاته.

كما رأينا من قبل، فإشعاع الخلفية الكوني يتكون من الفوتونات المولدة خلال الدقائق الأولى التي تلت الانفجار العظيم. في فترة مبكرة من تاريخ الكون، تفاعلت هذه الفوتونات مع المادة، مرتطمة بعنف بأي ذرة تحاول التكون حتى إنه لم تتكون أي ذرات على الإطلاق. بيد أن التمدد المستمر للكون جرد الفوتونات من طاقتها، وفي نهاية المطاف، في وقت الانفصال، لم يعد أي فوتون يملك طاقة تكفيه لمنع الإلكترونات من الدوران حول البروتونات وأنوية الهيليوم. منذ ذلك الوقت، ٣٨٠ ألف عام عقب الانفجار

العظيم، استمرت الذرات في الوجود — ما لم تتسبب بعض الاضطرابات الموضعية، على غرار الإشعاع الصادر عن نجم قريب، في تمزيقها — بينما الفوتونات، وكل واحد منها محمل بقدر متناقص من الطاقة، مستمرة في التجول عبر الكون مكونة معًا ما يسمى بإشعاع الخلفية الكوني.

بهذا يحمل إشعاع الخلفية الكوني سجلًّا تاريخيًّا؛ لقطة فوتوغرافية لما كان الكون عليه في وقت الانفصال. عرف الفيزيائيون الفلكيون كيف يفحصون هذه اللقطة بدقة كبيرة. أولًا، تؤكد حقيقة وجود إشعاع الخلفية الكوني أن فهمهم الأساسي لتاريخ الكون صحيح. ولاحقًا، بعد سنوات من تحسين قدراتهم على قياس إشعاع الخلفية الكوني، مكنتهم المعدات المعقدة المحمولة على مناطيد وأقمار صناعية من وضع خريطة للانحرافات الدقيقة في إشعاع الخلفية الكوني عن مستوى التجانس العام. تعد هذه الخريطة سجلًّا للتفاوتات الدقيقة التي زاد حجمها مع تمدد الكون عبر مئات الآلاف من الأعوام التي تلت فترة التضخم، والتي نمت بعد ذلك، خلال المليار عام التالية أو نحو ذلك، إلى توزيع واسع النطاق للمادة على مستوى الكون.

الأمر المثير للإعجاب هنا هو أن إشعاع الخلفية الكوني لا يوفر لنا فقط وسيلة لرسم آثار الكون المبكر للغاية، الذي اختفى منذ زمن بعيد، بل يمكننا أيضًا من تحديد المناطق ذات الكثافة الأعلى بقليل — على بعد ١٤ مليار سنة ضوئية في جميع الاتجاهات — التي صارت لاحقًا عناقيد مجرية وعناقيد مجرية فائقة. فالمناطق ذات الكثافة الأعلى من المتوسط خلفت وراءها فوتونات أكثر من المناطق ذات الكثافة الأقل. وحين صار الكون شفافًا — بفضل فقدان الطاقة الذي جعل الفوتونات عاجزة عن التفاعل مع الذرات المتكونة حديثًا — انطلق كل فوتون في رحلة تحمله بعيدًا عن نقطة منشئه. إن الفوتونات التي ولدت في منطقتنا سافرت لمسافة ١٤ مليار سنة ضوئية في جميع الاتجاهات، مكونة جزءًا من إشعاع الخلفية الكوني الذي ربما ترصده حضارة أخرى بعيدة في الطرف القصي من الكون، أما «فوتوناتهم» التي ستصل لمعداتنا فستخبرنا عما كان عليه الحال منذ زمن بعيد للغاية، في الوقت الذي بدأت فيه البُنى الكونية في التكون.

على مدار الربع قرن الذي تلا الاكتشاف الأول لإشعاع الخلفية الكوني في عام ١٩٦٥، بحث الفيزيائيون الفلكيون عن أي تفاوت في تجانس إشعاع الخلفية الكوني. من الناحية النظرية كانوا بحاجة ماسة للعثور عليه؛ لأنه دون هذا التفاوت في إشعاع الخلفية الكوني على مستوى بضعة أجزاء من مائة ألف، سيفقد نموذجهم الخاص

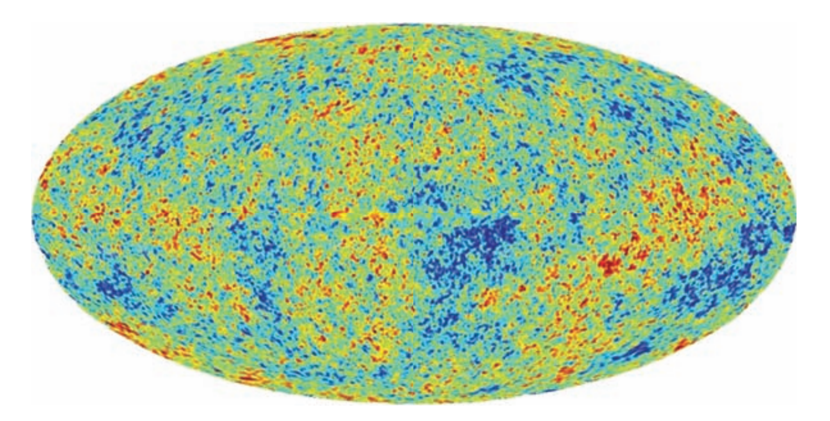
بكيفية ظهور البُنى الكونية صحته. وبدون بذور المادة التي يكشف عنها هذا الإشعاع لن يكون لدينا أي تفسير لوجودنا. لحسن الحظ ظهرت هذه التفاوتات في الوقت المناسب. وفور أن بنى علماء الكونيات أجهزة قادرة على الكشف عن هذه التفاوتات على مستوى ملائم وجدوها بالفعل، في البداية بواسطة القمر الصناعي «مستكشف الخلفية الكونية» في عام ١٩٩٢، ثم لاحقًا بواسطة المعدات الأكثر دقة المحمولة على المناطيد وعلى المسبار WMAP الذي تحدثنا عنه في الفصل الثالث. إن التفاوتات الدقيقة من مكان لآخر في مقدار الفوتونات الميكرونية المكونة لإشعاع الخلفية الكوني، والمصورة بدقة مذهلة بواسطة المسبار WMAP، تجسد سجلًّا للتفاوتات الكونية بعد مرور ٣٨٠ ألف عام على الانفجار العظيم. إن التفاوتات المعتادة لا تزيد عن بضعة أجزاء في المائة ألف من الدرجة أعلى أو أدنى من متوسط حرارة إشعاع الخلفية الكوني، لهذا يشبه الكشف عن هذه التفاوتات العثور على نقاط خافتة من الزيت الطافي على سطح بحيرة عرضها ميل يكون فيها الماء المخلوط بالزيت ذا ظل أقل كثافة بقليل من المتوسط. ومع ضآلة هذه التفاوتات، فإنها كانت كافية كبداية.

في خريطة إشعاع الخلفية الكوني التي رسمها المسبار WMAP، تخبرنا النقاط الحارة الأكبر حجمًا بالأماكن التي تغلبت فيها الجاذبية على نزعات التمدد الكوني وتمكنت من تجميع ما يكفي من المادة لتكوين العناقيد الفائقة. هذه المناطق اليوم نمت لتحوي حوالي ألف مجرة، كل واحدة منها تحوي ١٠٠ مليار نجم. وإذا أضفنا المادة المظلمة الموجودة في هذه العناقيد فستصل كتلتها الإجمالية لما يعادل كتلة $١٠^{١٦}$ شموس. وعلى العكس تطورت المناطق الباردة الكبيرة، التي لم يكن بيدها حيلة أمام تمدد الكون، لتكون خاوية من البُنى الكبيرة. يسمي الفيزيائيون الفلكيون هذه المناطق بـ «الفراغ»، وهو المصطلح الذي يكتسب معناه من وجود أشياء أخرى محيطة به. وهكذا فإن خيوط وألواح المجرات العملاقة التي يمكننا رصدها على السماء لا تشكل عناقيد مجرية في نقاط التقائها وحسب، بل تشكل جدرانًا وأشكالًا هندسية أخرى تمنح شكلًا للمناطق الخاوية من الكون.

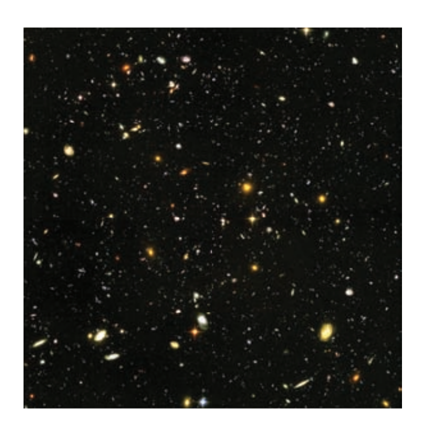
بطبيعة الحال لم تظهر المجرات بكل بساطة، بصورتها الكاملة، من تركيزات المادة الأعلى كثافة بشكل طفيف عن المتوسط، فمنذ ٣٨٠ ألف عام بعد الانفجار العظيم، وعلى مدار حوالي ٢٠٠ مليون عام تالٍ، استمرت المادة في تجميع نفسها، لكن دون أن يسطع أي شيء في الكون بعد؛ إذ إن النجوم لم تكن قد ولدت بعد. إبان هذه

الحقبة الكونية المظلمة احتوى الكون فقط على ما تم تكوينه خلال الدقائق القليلة الأولى؛ الهيدروجين والهيليوم وكميات طفيفة من الليثيوم. وفي غياب العناصر الأثقل — كالكربون والنيتروجين والأكسجين والصوديوم والكالسيوم وغيرها من العناصر الأثقل — لم يحتوِ الكون على أي من الذرات أو الجزيئات الشائعة الآن، التي يمكنها امتصاص الضوء عندما يبدأ أي نجم في السطوع. أما اليوم، في وجود هذه الذرات والجزيئات، فإن الضوء الصادر عن أي نجم مكون حديثًا سيتعين عليه الضغط على هذه الجزيئات بحيث يدفع بعيدًا كميات هائلة من الغازات التي لولا وجوده لانجذبت إلى النجم وسقطت فيه. هذا الطرد يحد من الكتلة العظمى للنجوم الوليدة إلى أقل من مائة ضعف كتلة الشمس. لكن حين تكونت النجوم الأولى في الكون، وفي غياب الذرات والجزيئات التي تمتص الضوء، تكونت الغازات المنجذبة إليها بالكامل من الهيدروجين والهيليوم، مسببة مقاومة طفيفة للغاية لمقدار الطاقة المندفع من النجم. مكن هذا النجومَ من تكوين كتل أكبر بكثير، تصل إلى عدة مئات — بل ربما بضعة آلاف — المرات قدر كتلة الشمس.

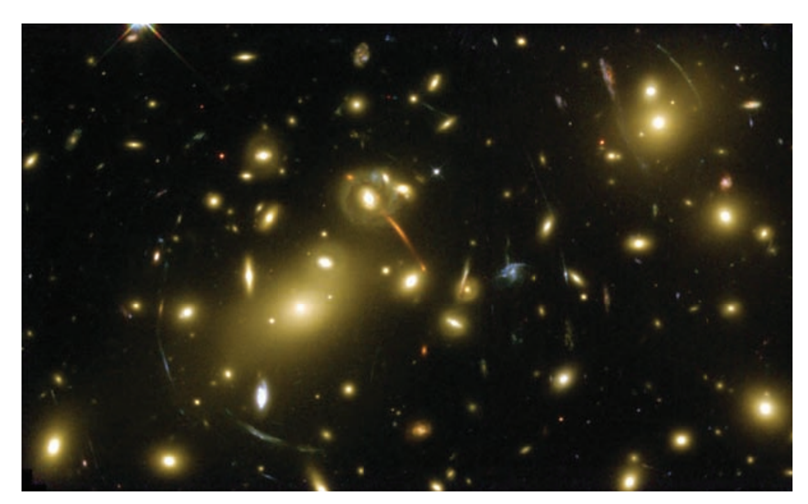
تعيش النجوم ذات الكتلة العالية حياة سريعة، وكلما عظمت كتلتها انتهت حياتها سريعًا. فهذه النجوم تحول المادة إلى طاقة بمعدلات مذهلة، بينما تكوّن العناصر الثقيلة ثم تموت في انفجارات مهولة وهي شابة. لا يزيد معدل عمر النجم منها على ملايين قليلة من الأعوام، أي أقل من واحد على الألف من عمر الشمس. إننا لا نتوقع أن نجد أيًّا من النجوم الهائلة هذه على قيد الحياة اليوم؛ لأنه في ظل شيوع العناصر الثقيلة في أرجاء الكون، لن يصير بمقدور النجوم عالية الكتلة أن تتكون من الأساس. في واقع الأمر لم يحدث أن رُصد أي من هذه النجوم عالية الكتلة قط. بيد أننا نعزو لها مسئولية إثراء الكون بكافة العناصر المألوفة تقريبًا، بما فيها الكربون والأكسجين والنيتروجين والسليكون والحديد، التي نأخذ وجودها كأمر مسلم به. سَمِّه إثراءً إن شئت، أو سمِّه تلوثًا، لكن بذور الحياة بدأت مع الجيل الأول من النجوم عالية الكتلة التي اختفت منذ زمن بعيد.



شكل ١: هذه الخريطة التي تبين التوزيع المرقط لإشعاع الخلفية الكوني أنتجها مسبار ويلكنسون لقياس اختلاف الموجات الميكرونية WMAP الذي أطلقته ناسا. المناطق الأعلى حرارة بشكل طفيف تظهر باللون الأحمر في الصورة، بينما تبدو المناطق الأكثر برودة باللون الأزرق. هذه الانحرافات عن توزيع الحرارة الثابت في كل مكان تكشف عن تفاوت كثافة المادة أثناء السنوات الأولى من عمر الكون. تدين العناقيد المجرية الفائقة بوجودها للمناطق الأعلى كثافة بشكل طفيف في صورة الكون الوليد هذه.



شكل ٢: صورة «الحقل العميق الفائق» التي التقطها تلسكوب هابل الفضائي، المأخوذة عام ٢٠٠٤، كشفت عن أكثر الأجرام الكونية المسجلة خفوتًا على الإطلاق. إن كل جسم يبدو في الصورة، مهما كان صغيرًا، هو في الواقع مجرة كاملة تبعد عن الأرض من ٣ إلى ١٠ مليارات سنة ضوئية. ونظرًا لانتقال الضوء لمليارات الأعوام قبل الوصول للتلسكوب، تبدو المجرات ليست بالشكل الذي هي عليه اليوم، بل بالشكل الذي كانت تبدو عليه وقتئذٍ، منذ نشأتها وعلى امتداد مراحل تطورها المتعاقبة.

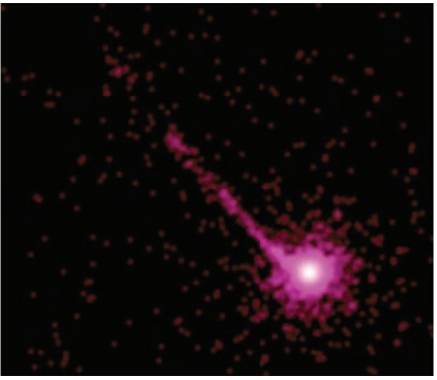


شكل ٣: يقع هذا العنقود المجري العملاق، الذي يسميه الفلكيون «إيه ٢٢١٨»، على مسافة حوالي ٣ مليارات سنة ضوئية من مجرة درب التبانة. وراء المجرات الموجودة بهذا العنقود تقع مجرات أخرى أبعد، لكن الضوء القادم منها يتقوس ويتشوه بفعل جاذبية المادة المظلمة وبفعل أضخم المجرات التي يحويها العنقود المجري «إيه ٢٢١٨». هذا الانحناء ينتج أقواس الضوء الرفيعة الطويلة التي تظهر في هذه الصورة التي التقطها تلسكوب هابل الفضائي.



شكل ٤: عنقود مجري عملاق آخر، يدعى «إيه ١٦٨٩»، يقع على مسافة ملياري سنة ضوئية يحني الضوء الصادر عن المجرات الأبعد منه، متسببًا في ظهور أقواس الضوء القصيرة الساطعة. يستطيع الفلكيون، من خلال قياس تفاصيل هذه الأقواس التي تكشف عنها الصور المأخوذة من تلسكوب هابل الفضائي، التأكد من أن السواد الأعظم من كتلة هذه العناقيد المجرية لا يقع في المجرات أنفسها، بل على صورة مادة مظلمة.





شكل ٥: النجم الزائف (الكويزر) المصنف باسم «بي كيه إس ١٢٧-١٤٥» يقع على مسافة ١٠ مليارات سنة ضوئية من مجرة درب التبانة. في الصورة العليا، وهي صورة بالضوء العادي مأخوذة من تلسكوب هابل الفضائي. ويكشف النجم الزائف عن نفسه على شكل جسم لامع في أسفل يمين الصورة. يدين النجم الزائف الفعلي — الذي يشغل الجزء الداخلي العميق من هذا الجسم وحسب — بطاقته المهولة الناتجة عنه إلى المادة ذات الحرارة الفائقة الساقطة في أحد الثقوب السوداء الهائلة. تبين الصورة السفلى المنطقة نفسها من السماء لكن بالأشعة السينية، وهي ملتقطة من مرصد تشاندرا. يندفع من النجم الزائف تيارات من المادة المطلقة للأشعة السينية يصل طول الواحد منها إلى أكثر من مليون سنة ضوئية.



شكل ٦: في هذه الصورة لعنقود الهَلبة المجري، كل جسم خافت تقريبًا هو مجرة كاملة تتألف مما يزيد على المائة مليار نجم. يشغل هذا العنقود المجري، الذي يبعد عن مجرة درب التبانة بحوالي ٣٢٥ مليون سنة ضوئية، مساحة قطرها عدة ملايين من السنوات الضوئية، ويحتوي على عدة آلاف من المجرات المستقلة التي تدور كل واحدة منها حول الأخرى بفعل قوى الجاذبية فيما يشبه رقص الباليه.



شكل ٧: المنطقة المركزية لعنقود العذراء المجري، الذي يبعد بمسافة ٦٠ مليون سنة ضوئية فقط عن مجرة درب التبانة، تظهر عشرات المجرات من مختلف الأنواع، من ضمنها المجرات البيضاوية في أعلى يسار الصورة وأعلى يمينها. وتظهر المجرات الحلزونية في أكثر من مكان بالصورة، الملتقطة بواسطة تلسكوب كندا-فرنسا-هاواي بمرصد مونا كيا. الجاذبية الهائلة لعنقود العذراء المجري، وقربه من مجرة درب التبانة، يؤثران بدرجة واضحة على حركة مجرة درب التبانة في الفضاء. وفي الواقع تشكل مجرة درب التبانة وعنقود العذراء المجري جزءًا من نظام مجري أكبر يطلق عليه عنقود العذراء المجري الفائق.



شكل ٨: هذا الزوج من المجرات المتفاعلة، الذي حمل اسم «آرب ٢٩٥» من واقع موقعه في «أطلس المجرات الغريبة» لهالتون آرب، يرسم خيوطًا طويلة من النجوم والغازات، تمتد عبر مسافة ربع مليون سنة ضوئية. تقع المجرتان على مسافة حوالي ٢٧٠ ألف سنة ضوئية من مجرة درب التبانة.



شكل ٩: تحتل مجرة حلزونية عملاقة شبيهة بمجرتنا الجزء الأكبر من هذه الصورة الملتقطة بواسطة «مصفوف المراصد العظيم» في تشيلي. الفحص المباشر لهذه المجرة — التي تقع على مسافة نحو ١٠٠ مليون سنة ضوئية من مجرة درب التبانة وتسمى بالمجرة «إن جي سي ١٢٣٢» — يمكننا من رصد الضوء الضارب للصفرة القادم من النجوم القديمة نسبيًّا بالقرب من مركز المجرة، وكذلك النجوم الشابة الضخمة الحارة ذات الضوء الضارب للزرقة المهيمنة على كرة النار بالأذرع الحلزونية. يرصد الفيزيائيون الفلكيون كذلك كميات كبيرة من حبيبات الغبار النجمي داخل هذه الأذرع. وتظهر مجرة أصغر مرافقة للمجرة «إن جي سي ١٢٣٢»، وهي مجرة حلزونية قضيبية، يطلق عليها هذا الوصف نظرًا لأن مركزها يشبه شكل القضيب، على يسار المجرة الحلزونية العملاقة.



شكل ١٠: هذه المجرة الحلزونية، التي تحمل الاسم «إن جي سي ٣٣٧٠» وتقع على مسافة ١٠٠ مليون سنة ضوئية، تشبه مجرتنا، مجرة درب التبانة، في الحجم والشكل والكتلة. تكشف هذه الصورة الملتقطة بواسطة تلسكوب هابل الفضائي الأذرع الحلزونية المعقدة المكونة من النجوم الشابة الحارة الساطعة للغاية. تشغل هذه المجرة، من الحافة للحافة، مساحة قدرها ١٠٠ ألف سنة ضوئية.



شكل ١١: في مارس من عام ١٩٩٤ اكتشف الفلكيون المستعر الأعظم «١٩٩٤ دي» في المجرة الحلزونية «إن جي سي ٤٥٢٦»، وهي واحدة من آلاف المجرات الموجودة في عنقود العذراء المجري، الذي يبعد مسافة ٦٠ مليون سنة ضوئية تقريبًا عن مجرة درب التبانة. في هذه الصورة الملتقطة بواسطة تلسكوب هابل الفضائي يظهر المستعر الأعظم على شكل جسم لامع في أسفل يسار الصورة، أسفل حزام الغبار الممتص للضوء الموجود في منتصف المجرة. إلى جانب إثراء البيئة المحيطة بالعناصر الكيميائية المكونة للحياة، يعد المستعر الأعظم «١٩٩٤ دي» مثالًا على المستعرات العظمى من النوع Ia المستخدمة في اكتشاف تسارع معدل تمدد الكون.



شكل ١٢: عندما ننظر إلى هذه المجرة الحلزونية، «إن جي سي ٤٦٣١»، الواقعة على مسافة ٢٥ مليون سنة ضوئية تقريبًا، يقع خط البصر على حافة قرص المجرة، ولهذا لا نستطيع رؤية الأذرع الحلزونية للمجرة. بدلًا من هذا يحجب الغبار الواقع داخل القرص أغلب الضوء القادم من نجوم المجرة. الرقعة الحمراء إلى يسار مركز المجرة تشكل حاضنة نجمية. فوق المجرة «إن جي سي ٤٦٣١» توجد مجرة بيضاوية أصغر، وهي مجرة تابعة تدور حول المجرة الحلزونية العملاقة.



شكل ١٣: في هذه المجرة الصغيرة غير المنتظمة، المسماة بالمجرة «إن جي سي ١٥٦٩»، التي تبعد عنا ٧ ملايين سنة ضوئية فقط، بدأت عملية واسعة لتكون النجوم منذ نحو ٢٥ مليون عام ولا يزال بالإمكان رؤيتها إلى الآن، وهي المسئولة عن أغلب الضوء الصادر عن المجرة. بالإمكان رؤية اثنين من العناقيد النجمية الكبيرة في الجزء الأيسر من هذه الصورة الملتقطة بواسطة تلسكوب هابل الفضائي.



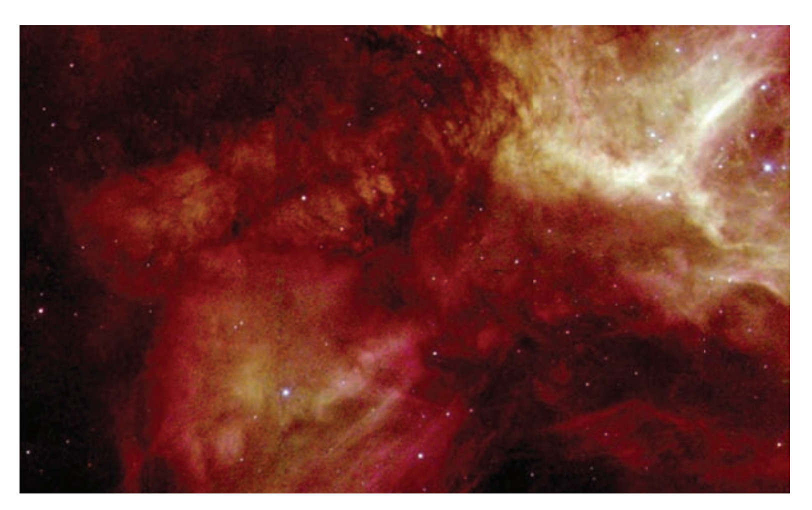
شكل ١٤: تقع مجرة أندروميدا، أقرب المجرات الكبيرة لدرب التبانة، على مسافة ٢٫٤ مليون سنة ضوئية تقريبًا منا، وتشغل حيزًا في السماء أكبر من الحيز الذي يشغله القمر في طور البدر بعدة أضعاف. في هذه الصورة، الملتقطة بواسطة الفلكي الهاوي روبرت جندلر، تظهر إحدى المجرتين البيضاويتين التابعتين لمجرة أندروميدا في منتصف اليسار، بينما تظهر الأخرى بشكل خافت في أعلى منتصف الصورة. جميع الأجسام الأخرى الساطعة هي نجوم داخل مجرة درب التبانة، قريبة منا مباشرة على مسافة ١ / ١٠٠ من المسافة إلى مجرة أندروميدا.



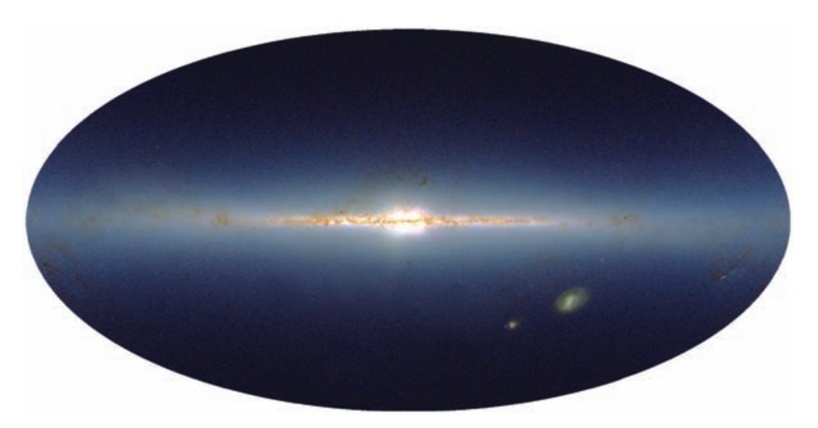
شكل ١٥: على مقربة نسبية من مجرة درب التبانة، على نفس بُعد مجرة أندروميدا (حوالي ٢٫٤ مليون سنة ضوئية)، تقع المجرة «إم ٣٣»، التي تظهر منطقة تكون النجوم الرئيسية بها في هذه الصورة الملتقطة بواسطة تلسكوب هابل الفضائي. إن أضخم النجوم التي تكونت في هذه المنطقة انفجرت بالفعل على صورة مستعرات عظمى، متسببة في إثراء المنطقة المحيطة بها بالعناصر الثقيلة، في الوقت الذي تنتج فيه النجوم الكبيرة الأخرى أشعة فوق بنفسجية قوية تطيح بالإلكترونات من الذرات المحيطة بها.



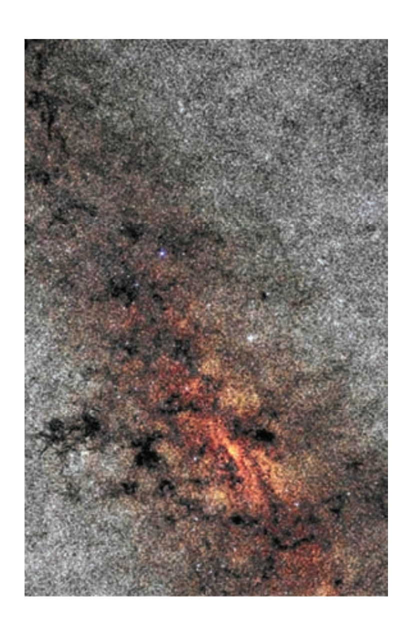
شكل ١٦: لمجرة درب التبانة مجرتان تابعتان تسميان سحابة ماجلان الكبرى والصغرى. هذه الصورة لسحابة ماجلان الكبرى تظهر قضيبًا كبيرًا من النجوم في اليسار، إلى جانب العديد من النجوم المنفردة ومناطق تكون النجوم في اليمين. يعد سديم العنكبوت الساطع — الذي يحمل هذا الاسم بسبب شكله ويمكن رؤيته في أعلى منتصف الصورة — أكبر منطقة لتكون النجوم في هذه المجرة.



شكل ١٧: هذه المنطقة من مناطق تكون النجوم، والمسماة بسديم الفراشة بسبب شكلها، تنتمي لسحابة ماجلان الكبرى، كبرى المجرتين التابعتين لمجرة درب التبانة. تضيء النجوم اليافعة السديم من الداخل وتستثير ذرات الهيدروجين بحيث تطلق وهجًا أحمر مميزًا يظهر في هذه الصورة الملتقطة بواسطة تلسكوب هابل الفضائي.



شكل ١٨: يظهر مسح السماء بالكامل بالأشعة تحت الحمراء أننا نعيش داخل القرص المسطح لمجرة حلزونية، الذي يمتد في هذه الصورة من يسار المنطقة الوسطى لمجرة درب التبانة إلى يمينها. تمتص جزيئات الغبار بعض الضوء في هذه المنطقة، تمامًا مثلما يحدث في المجرات الحلزونية البعيدة. أسفل سطح مجرة درب التبانة يمكننا رؤية المجرتين غير المنتظمتين التابعتين لها وهما سحابة ماجلان الكبرى وسحابة ماجلان الصغرى.



شكل ١٩: حين ننظر صوب مركز مجرتنا درب التبانة، على مسافة حوالي ٣٠ ألف سنة ضوئية من المجموعة الشمسية، ستحجب سحب غنية بالغبار الرؤية بالضوء العادي. الأشعة تحت الحمراء تخترق هذا الغبار بشكل أفضل، ولهذا تكشف هذه الصورة بالأشعة تحت الحمراء المأخوذة ضمن مشروع «التلسكوبين الميكرونيين الماسحين للسماء بأكملها» عن الإشعاع الذي يظهر بالقرب من مركز المجرة، المنطقة شديدة السطوع في هذه الصورة، حيث قد يوجد ثقب أسود فائق الضخامة يبتلع المادة.



شكل ٢٠: يقع سديم السرطان على مسافة ٧ آلاف سنة ضوئية من المجموعة الشمسية، وقد تكوَّن نتيجة نجم منفجر وصل ضوءه إلى الأرض في الرابع من يوليو عام ١٠٥٤. في هذه الصورة الملتقطة بواسطة تلسكوب كندا-فرنسا-هاواي بمرصد مونا كيا، تتكون الخيوط الضاربة للحمرة بالأساس من غاز الهيدروجين، الذي يبتعد عن منطقة الانفجار في المركز. أما الوهج الأبيض فينشأ عن الإلكترونات التي تتحرك بسرعة تقارب سرعة الضوء عبر الحقول المغناطيسية الكثيفة. بقايا المستعرات العظمى كهذا تضيف مادتها المتطورة إلى سحب الغازات والغبار النجمية. هذه السحب تعمل على تكوين نجوم جديدة تحوي من العناصر «الثقيلة»، مثل الكربون والنيتروجين والأكسجين والحديد، أكثر مما تحويه النجوم القديمة.

خلال البضعة مليارات عام الأولى بعد وقت الانفصال، استمر تجمع المادة بفعل الجاذبية؛ إذ قربت الجاذبية المادة بعضها من بعض على جميع المستويات تقريبًا. إحدى النتائج الطبيعية لعمل الجاذبية تكون الثقوب السوداء الهائلة، التي تبلغ كتلة الواحد منها عدة ملايين، وربما مليارات، كتلة الشمس. الثقوب السوداء التي لها هذه الكتلة المهولة تبلغ ما يقارب حجم مدار نبتون حول الشمس، وهي تنشر الدمار في بيئتها الوليدة. والسحب الغازية التي تنجذب نحو هذه الثقوب السوداء ترغب في اكتساب السرعة، لكنها تعجز عن ذلك بسبب وجود العديد من الأشياء في طريقها؛ لذا فهي ترتطم وتحتك بكل ما يصادفها أثناء انحدارها نحو الثقب الأسود في دوامة هائلة. وقبيل اختفاء هذه السحب إلى الأبد تتسبب الاصطدامات التي تحدث داخل مادتها ذات الحرارة الفائقة في انبعاث كميات مهولة من الطاقة، مليارات المرات قدر سطوع الشمس، وكل هذا في حجم لا يتجاوز حجم المجموعة الشمسية. تندفع تيارات هائلة من المادة والإشعاع، وتمتد لمسافة مئات الآلاف من السنوات الضوئية أعلى وأسفل الغازات الدوارة، بينما تشق الطاقة طريقها كي تهرب من هذه الدوامة بكل الطرق الممكنة. وبينما تسقط سحابة، وتدور أخرى في انتظار السقوط، يتباين سطوع المجموعة، فتصير أكثر سطوعًا ثم أكثر خفوتًا على مدار ساعات أو أيام أو أسابيع. إذا تصادف أن اتجه أحد هذه التيارات صوبك مباشرة، فستبدو المجموعة أكثر سطوعًا، وأكثر تباينًا في محتوى الطاقة المنتَج، عما هو الحال لو كانت التيارات متجهة إلى الجانب. وعند النظر إليها من أي مسافة كافية، فإن كل هذه الثقوب السوداء، إضافة إلى المادة المندفعة نحوها، ستبدو صغيرة وساطعة للغاية مقارنة بالمجرات التي نراها اليوم. إن ما أنتجه الكون — تلك الأجرام التي وصفنا للتو مولدها — يسمى بالنجوم الزائفة أو الكويزرات.

اكتُشفت النجوم الزائفة في أوائل الستينيات، حين بدأ الفلكيون في استخدام تلسكوبات مزودة بمستكشفات حساسة للنطاقات غير المرئية من الإشعاع، على غرار موجات الراديو والأشعة السينية. صار بالإمكان وقتها عند رسم أشكال المجرات تضمين معلومات عن مظهرها في نطاقات أخرى للطيف الكهرومغناطيسي. وبإضافة ذلك إلى التحسينات في التصوير الفوتوغرافي العادي، بدأت أنواع جديدة من المجرات في الظهور من أعماق الفضاء. من أكثر هذه المجرات إثارة للدهشة كانت تلك الأجرام التي بدت في الصور الفوتوغرافية وكأنها نجوم عادية، لكنها، على عكس النجوم، كانت تنتج كميات استثنائية من موجات الراديو. التوصيف المستخدم لهذه الأجرام هو «مصادر موجات

الراديو شبه النجمية»، أو اختصارًا «النجوم الزائفة». والأكثر إثارة للدهشة من موجات الراديو المنبعثة من هذه الأجرام هو مسافاتها؛ إذ اتضح أن هذه الأجرام هي أبعد الأجرام المعروفة في الكون بأسره. لكن لكي تكون النجوم الزائفة بهذا الحجم الصغير، ومع هذا مرئية على مثل هذه المسافات البعيدة، فهذا يعني أنها نوع جديد تمامًا من الأجرام. صغيرة إلى أي درجة؟ ليست أكبر حجمًا من المجموعة الشمسية. ساطعة إلى أي درجة؟ حتى أكثرها خفوتًا يزيد سطوعها عن المجرات المتوسطة في الكون.

بحلول أوائل السبعينيات اتفق الفيزيائيون الفلكيون على أن الثقوب السوداء الهائلة هي محركات هذه النجوم الزائفة، وأنها بجاذبيتها الشديدة تلتهم أي شيء يقع في متناولها. يمكن لنموذج الثقوب السوداء أن يفسر الحجم الصغير والسطوع الكبير للنجوم الزائفة، بيد أنه لا يقول شيئًا عن مصدر غذاء الثقوب السوداء. فقط مع حلول الثمانينات بدأ الفيزيائيون الفلكيون في فهم بيئة النجوم الزائفة، وسبب هذا التأخير هو أن السطوع الهائل للمنطقة الوسطى في أي نجم زائف يحجب رؤية أي شيء محيط أقل سطوعًا. لكن في نهاية المطاف، ومع ظهور تقنيات جديدة لحجب الضوء القادم من المركز، تمكن الفيزيائيون الفلكيون من الكشف عن الزغب المحيط ببعض النجوم الزائفة الخافتة. ومع تقدم أساليب وتقنيات الكشف أكثر، كشف كل نجم زائف عما يحيط به، بل إن بعضها كشف عن بنية حلزونية. وقد اتضح أن النجوم الزائفة ليست نوعًا جديدًا من الأجرام، بل نوعًا جديدًا من الأنوية المجرية.

في أبريل ١٩٩٠ أطلقت الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (ناسا) أحد أعلى المعدات الفلكية تكلفة: تلسكوب هابل الفضائي. يستفيد هذا التلسكوب، بحجمه الذي يعادل حجم حافلة كبيرة ويدار بأوامر تُرسل إليه من الأرض، من الدوران حول الأرض بعيدًا عن تشويش الغلاف الجوي. وفور أن نصب رواد الفضاء بعض العدسات لتصحيح الأخطاء التي شابت مرآته الرئيسية وقت تصنيعها، تمكن التلسكوب من الوصول إلى مناطق لم يسبق رؤيتها من قبل في المجرات العادية، بما في ذلك مراكزها. وعند توجيهه صوب مراكز المجرات تبين أن النجوم تتحرك بسرعة غير مبررة، خاصة في وجود الجاذبية التي تكشف عنها أشعة الضوء المرئي الآتية من النجوم الأخرى في الجوار. حسن، جاذبية قوية، ومساحة صغيرة ... لا بد أن هناك ثقبًا أسود. وبالفعل عثرنا في قلب مجرة تلو الأخرى — بل عشرات المجرات تلو الأخرى — على تلك النجوم السريعة المثيرة للريبة. وفي

الواقع، كلما أتانا تلسكوب هابل الفضائي بصورة واضحة لقلب إحدى المجرات، وجدنا الأمر عينه.

يبدو من المرجح الآن أن كل مجرة عملاقة تأوي في قلبها ثقبًا أسود ضخمًا، ربما خدم كبذرة جذبوية تتجمع حولها المادة الأخرى، أو ربما يكون قد تكون في وقت لاحق من المادة المندفعة نحوه من المناطق الخارجية للمجرة. لكن لم تكن كل المجرات نجومًا زائفة في شبابها.

بدأت القائمة المتزايدة للمجرات العادية التي تحوي في قلوبها ثقوبًا سوداء في إثارة دهشة الباحثين: أهو ثقب أسود عملاق وليس نجمًا زائفًا؟ أم نجم زائف محاط بمجرة؟ ليس بوسع المرء سوى التفكير في صورة جديدة تسير عليها الأمور. في هذه الصورة تبدأ بعض المجرات حياتها كنجوم زائفة. ولكي تكون نجومًا زائفة — وهو ما يعني في حقيقة الأمر وجود قلب مستعر مرئي لمجرة عادية — لا بد ألا يوجد ثقب أسود جائع فقط، بل أيضًا مخزون وفير من الغازات المندفعة نحوه. وفور التهام الثقب الأسود لكل الطعام المتاح، تاركًا النجوم والغازات التي لم يلتهمها في مداراتها البعيدة الآمنة، ينطفئ النجم الزائف ببساطة. وعندئذٍ يتبقى لدينا مجرة وديعة يستقر ثقب أسود خامد في قلبها.

وجد الفلكيون أنواعًا أخرى من الأجرام، تحتل منزلة بين النجوم الزائفة والمجرات العادية، وتعتمد خصائصها أيضًا على السلوك السيئ للثقوب السوداء الهائلة. في بعض الأحيان تطفو تيارات المادة الساقطة في الثقب الأسود الموجود بمركز المجرة في بطء وثبات، وفي أوقات أخرى يحدث هذا بصور متقطعة. مثل هذه الأنظمة تملأ مختلف المجرات ذات الأنوية النشطة لكن غير المتقدة. على مر السنين تراكمت أسماء الأنواع المختلفة من هذه النظم مثل: لاينرز (مناطق خطوط الانبعاث النووية منخفضة التأين)، ومجرات سيفيرت ومجرات N وأجسام لا سيرتا (البلازارات). كل هذه الأجسام يُطلق عليها الاختصار "AGNs" الذي يعني المجرات ذات الأنوية «النشطة». تظهر المجرات ذات الأنوية النشطة على مسافات بعيدة وأخرى قريبة نسبيًّا، وذلك على العكس من النجوم الزائفة التي لا تظهر إلا على مسافات بعيدة للغاية فقط. يوحي هذا بأن المجرات ذات الأنوية النشطة تملأ نطاق المجرات التي تسيء التصرف. استهلكت النجوم الزائفة كل طعامها منذ زمن بعيد؛ لذا لا يمكننا رؤيتها إلا إذا نظرنا للوراء عبر الزمن من خلال

رصد المناطق البعيدة للغاية في الفضاء. على العكس من ذلك، للمجرات ذات الأنوية النشطة شهية أكثر اعتدالًا؛ لذا لا يزال البعض منها يحتفظ بالطعام ليتناوله، حتى بعد مرور مليارات الأعوام.

إن تصنيف المجرات ذات الأنوية النشطة على أساس المظهر وحسب ليس كافيًا؛ لذا صنف الفيزيائيون الفلكيون المجرات ذات الأنوية النشطة على أساس أطيافها وأيضًا النطاق الكامل لانبعاثاتها الكهرومغناطيسية. خلال الفترة من منتصف التسعينيات إلى أواخرها حسن الباحثون نموذج الثقوب السوداء، ووجدوا أن بمقدورهم توصيف كل الوحوش العجيبة التي تحويها حديقة المجرات ذات الأنوية النشطة من خلال قياس عدد قليل من المؤشرات وحسب، وهي: كتلة الثقب الأسود الموجود في الجرم، والمعدل الذي يتغذى به، وزاوية رؤية القرص الخارجي والتيارات الخارجة منه. على سبيل المثال، إذا كنا ننظر في اتجاه خروج أحد التيارات المندفعة من المنطقة المحيطة بالثقب الأسود، فسنرى جسمًا أكثر سطوعًا بكثير عما لو كنا ننظر إليه من زاوية مختلفة من الجانب. يمكن للتنويعات المختلفة لهذه المؤشرات الثلاثة أن تفسر كل صور التنوع التي يرصدها الفيزيائيون الفلكيون، مفسرة لهم كيفية تطور أنواع المجرات ومانحة إياهم فهمًا أعمق لعملية تكون المجرات وتطورها. إن قدرة هذا العدد القليل من المؤشرات على تفسير العديد من المظاهر — اختلافات الشكل والحجم والسطوع واللون — هو انتصار غير مسبوق لفيزيائيي القرن العشرين الفلكيين. ولأن هذا الأمر احتاج لعدد كبير من الباحثين وسنوات عديدة وقدر كبير من وقت التلسكوب، فهو ليس بالأمر الذي يعلن عنه ببساطة في نشرة الأخبار المسائية؛ ومع هذا فهو انتصار حقيقي.

علينا ألا نفترض، مع ذلك، أن الثقوب السوداء العملاقة يمكنها تفسير كل شيء. فمع أن كتلتها تفوق كتلة الشمس بملايين أو مليارات المرات، فإن كتلتها هذه لا تُذكر عند المقارنة بكتل المجرات الموجودة بها؛ إذ تبلغ أقل بكثير من ١ بالمائة من الكتلة الإجمالية لأي مجرة كبيرة. وعندما نسعى لتفسير وجود المادة المظلمة، أو غيرها من مصادر الجاذبية غير المرئية في الكون، لا تكون للثقوب السوداء أهمية كبيرة، بل بالإمكان تجاهلها تمامًا. لكن عند حساب كمية الطاقة التي تسهم بها الثقوب السوداء — أي حينما نحسب الطاقة التي بعثت بها كجزء من عملية تكونها — سنجد أنها تهيمن على القدر الأعظم من طاقة تكون المجرات. فكل طاقة مدارات النجوم والسحب الغازية

التي تتألف منها المجرة في نهاية المطاف تبدو تافهة مقارنة بالطاقة التي بذلت لتكوين الثقوب السوداء. وربما لم تكن المجرات لتتكون على الصورة التي نعرفها لو لم تقبع في قلوبها تلك الثقوب السوداء فائقة الضخامة. إن الثقب الأسود الذي كان فيما مضى ساطعًا لكنه الآن غير مرئي والقابع في قلب كل مجرة يقدم لنا رابطًا خفيًّا؛ تفسيرًا ماديًّا لتكتل المادة في نظم معقدة تدور فيها مليارات النجوم حول مركز مشترك.

إن التفسير الأشمل لتكون المجرات لا يقوم فقط على الجاذبية الناتجة عن الثقوب السوداء فائقة الضخامة، بل على الجاذبية في الظروف الفلكية التقليدية أيضًا. ما الذي كون مليارات النجوم داخل كل مجرة؟ الجاذبية فعلت هذا أيضًا، مكونة ما يصل إلى مئات الآلاف من النجوم في السحابة الغازية الواحدة. إن أغلب نجوم المجرة ولدت داخل «تجمعات» فضفاضة من المادة. ومناطق مولد النجوم الأكثر اكتنازًا لا تزال تشكل «عناقيد نجمية» متماثلة، تدور داخلها النجوم حول مركز العنقود النجمي، وتتحدد مساراتها عبر الفضاء فيما يشبه رقصة الباليه الكونية من خلال قوى الجاذبية التي تمارسها كافة النجوم الأخرى داخل العنقود النجمي، حتى بينما تتحرك هذه العناقيد نفسها في مسارات هائلة حول مركز المجرة، على مسافة آمنة من القوة المدمرة للثقب الأسود الذي يحتل مركز المجرة.

داخل العنقود الواحد تتحرك النجوم بنطاق واسع من السرعات، ويتحرك بعضها بسرعة بالغة لدرجة المخاطرة بالخروج من المجموعة تمامًا. وفي الواقع يحدث هذا الأمر أحيانًا، وذلك حين تتحرر النجوم السريعة من قبضة جاذبية العنقود النجمي وتهيم حرة في أرجاء المجرة. هذه المجرات الحرة، إلى جانب «العناقيد النجمية الكروية» التي يحوي الواحد منها مئات الآلاف من النجوم، تضيف إلى النجوم التي تشكل الهالات الكروية للمجرات. هذه الهالات المجرية، التي كانت في البداية ساطعة لكنها اليوم تفتقد سطوعها ونجومها ذات العمر القصير، هي أقدم الأجسام المرئية في الكون بأسره؛ إذ يرجع تاريخ ميلادها إلى وقت تكون المجرات نفسها.

آخر ما ينهار، ومن ثم آخر ما يتحول إلى نجوم، هو الغازات والغبار الذي ينجذب ويُثبَّت على سطح القرص المجري. في المجرات البيضاوية لا وجود لهذا القرص؛ إذ إن كل ما تحويه من غازات تحول بالفعل إلى نجوم. أما المجرات الحلزونية فبها توزيعات منبسطة من المادة تتسم بوجود سطح مركزي تتكون داخله أصغر النجوم وأكثرها سطوعًا في أنماط حلزونية، وهو ما يبرهن على وجود الموجات العظيمة المتذبذبة

ذات الكثافة المتفاوتة والغازات المتخلخلة التي تدور حول مركز المجرة. كل الغازات الموجودة في المجرة الحلزونية ولم تشارك بسلاسة في تكوين العناقيد النجمية تهبط نحو السطح المركزي، وتتجمع، كحلوى الخطمي الساخنة التي تلتصق بعضها ببعض عند التلامس، وتكون قرصًا من المادة يعمل ببطء على تكوين النجوم. على مدار مليارات الأعوام المنصرمة، ولمليارات الأعوام القادمة، ستستمر النجوم في التكون في المجرات الحلزونية، وكل جيل جديد سيكون أكثر ثراءً بالعناصر الثقيلة عن سابقه. هذه العناصر الثقيلة (التي يقصد بها الفيزيائيون الفلكيون كل العناصر الأثقل من الهيليوم) تدفقت إلى الفضاء النجمي من النجوم المسنة أو من انفجارات النجوم ذات الكتلة الهائلة، كالمستعرات العظمى. إن وجودها يجعل المجرة — ومن ثم الكون — أكثر ملاءمة لكيمياء الحياة كما نعرفها.

أوضحنا باختصار مولد المجرات الحلزونية التقليدية، في سلسلة تطورية تكررت لعشرات المليارات من المرات، ونتج عنها مجرات ذات تكوينات متباينة: على صورة عناقيد مجرية، وعلى صورة خيوط طويلة من المجرات، وأيضًا على صورة ألواح من المجرات.

ولأننا كلما نظرنا أبعد في الفضاء نظرنا إلى الماضي أكثر عبر الزمن، فنحن نملك القدرة على دراسة المجرات ليس فقط بشكلها الحالي، بل أيضًا بالشكل الذي كانت عليه منذ مليارات الأعوام، وكل هذا من خلال النظر عبر الفضاء. مشكلة تحويل هذا المفهوم إلى واقع تجريبي تكمن في حقيقة أن المجرات الواقعة على بعد مليارات السنوات الضوئية تبدو كأجسام صغيرة وخافتة للغاية؛ لذا فحتى أفضل تلسكوباتنا لن يمكنها فك طلاسمها. ومع ذلك فقد حقق الفيزيائيون الفلكيون تقدمًا عظيمًا في هذا الصدد خلال السنوات القليلة الماضية. حدثت الطفرة عام ١٩٩٥ حين رتب روبرت ويليامز — الذي كان يشغل وقتها منصب مدير معهد علوم تلسكوبات الفضاء في جامعة جونز هوبكنز — من أجل توجيه تلسكوب هابل الفضائي صوب اتجاه وحيد في الفضاء، بالقرب من مجموعة الدب الأكبر، لما يساوي عشرة أيام من وقت الرصد. يستحق ويليام الفضل كله لأن لجنة تخصيص الوقت الخاصة بالتلسكوب، التي تختار اقتراحات الرصد التي تستحق تخصيص وقت التلسكوب لها، اعتبرت الاقتراح غير جدير بالدعم. فعلى أي حال، المنطقة المطلوب دراستها اختِيرت عن قصد؛ لأنه لا يوجد شيء مثير للاهتمام بها، ومن ثم هي لا تزيد عن رقعة كئيبة مملة من السماء. نتيجة لذلك، لم يكن باستطاعة أي

مشروع حالي الاستفادة مباشرة من تخصيص كل هذا القدر من وقت التلسكوب الذي عليه طلب كبير بالفعل. كان يحق لويليام، بوصفه مديرًا لمعهد علوم تلسكوبات الفضاء، تخصيص نسبة بسيطة من إجمالي وقت التلسكوب، «الوقت الذي يقدره بوصفه المدير»، وبالفعل استثمر هذا الوقت في التقاط ما صار يعرف بـ «حقل هابل العميق»، وهي واحدة من أشهر الصور الفلكية الملتقطة على الإطلاق.

أنتجت فترة الرصد التي امتدت عشرة أيام، والتي تزامنت مع فترة الإجازات الحكومية لعام ١٩٩٥، الصورة التي تعرضت لأكبر قدر من الدراسة في تاريخ علم الفلك. تقدم لنا صورة الحقل العميق، المرصعة بالمجرات وأشباه المجرات، طبعة أصلية للكون وضعت الأجرام الموجودة على مسافات متباينة من درب التبانة عليها توقيعاتها الخاطفة في أزمنة متباينة. إننا نرى الأجرام في صورة الحقل العميق كما كانت عليه منذ ١,٣ مليار عام مثلًا، أو ٣,٦ مليارات عام، أو ٥,٧ مليارات عام، أو ٨,٢ مليارات عام مضت، وتاريخ كل جرم محدد من واقع بعده عنا. انكب مئات الفلكيين على كنز البيانات التي تحويها هذه الصورة المنفردة من أجل توليد معلومات جديدة بشأن كيفية تطور المجرات عبر الزمن، وكيف كانت المجرات تبدو بعد تكونها بوقت قصير. في عام ١٩٩٨ التقط التلسكوب صورة أخرى باسم «حقل هابل العميق الجنوبي» من خلال تكريس عشرة أيام من وقت الرصد لبقعة أخرى من السماء في اتجاه معاكس لاتجاه صورة الحقل العميق الأولى، أعلى نصف الكرة الجنوبي. مكنت المقارنة بين الصورتين الفلكيين من التأكد من أن النتائج التي حصلوا عليها من الصورة الأولى لم تمثل شيئًا شاذًّا (على سبيل المثال، لو كانت الصورتان متطابقتين في كل التفاصيل، أو مختلفتين إحصائيًّا من كل وجه، لم نكن لنجد لهذا تفسيرًا علميًّا مقبولًا)، وكذلك تنقيح نتائجهم التي توصلوا إليها بشأن كيفية تكون أنواع المجرات المختلفة. وبعد مهمة صيانة ناجحة جُهز فيها تلسكوب هابل بمستكشفات أفضل (أعلى حساسية)، لم يستطع معهد علم تلسكوبات الفضاء مقاومة الإغراء وأجاز عام ٢٠٠٤ صورة «حقل هابل العميق الفائق»، التي تظهر المزيد عن الكون الأبعد.

مع الأسف لم تثمر أفضل جهود التلسكوب هابل في كشف النقاب عن المراحل الأولى لتكون المجرات، التي ستُكشف لنا من خلال الأجرام الموجودة على أبعد المسافات، وسبب ذلك هو أن التمدد الكوني أزاح القدر الأعظم من إشعاعها نحو نطاق الأشعة تحت الحمراء على طيف الضوء، وهو ما تعجز أجهزة التلسكوب عن التقاطه. لرصد هذه

المجرات الأبعد ينتظر الفلكيون التصميم والبناء والإطلاق ثم التشغيل الناجح لخليفة التلسكوب هابل المسمى بتلسكوب جيمس ويب الفضائي والمسمى على اسم رئيس وكالة ناسا إبان فترة إطلاق مركبات أبوللو. (يقول المتهكمون إن اختيار هذا الاسم لم يكن بهدف تكريم هذا العالم الشهير بقدر ما كان ضمانًا لأن لا يُلغى مشروع التلسكوب؛ نظرًا لأن هذا سيعني حذف تراث رسمي مهم.)

سيحمل تلسكوب جيمس ويب الفضائي مرآة أكبر من مرآة هابل، ومصممة كي تفتح نفسها كزهرة آلية معقدة، بحيث توفر سطحًا عاكسًا أكبر بكثير مما يستطيع أي صاروخ حمله. وسيحوي التلسكوب الفضائي الجديد مجموعة من المعدات الأكثر تقدمًا بكثير عن معدات التلسكوب هابل، التي صُممت في الأساس في الستينيات، وبُنيت في السبعينيات، وأُطلقت في عام ١٩٩١، والتي — حتى بعد تحديثها بشكل كبير في التسعينيات — لا تزال تفتقد بعض القدرات الجوهرية مثل القدرة على التقاط الأشعة تحت الحمراء. هذه القدرة موجودة اليوم في تلسكوب سبيتزر للأشعة تحت الحمراء الذي أطلق عام ٢٠٠٣، والذي يدور حول الشمس في مدار أبعد من الأرض عن مدار هابل، وبهذا يتفادى أي تداخل تسببه كميات الأشعة تحت الحمراء الغزيرة التي ينتجها كوكبنا. لتحقيق هذه الغاية سيكون على تلسكوب جيمس ويب الفضائي أن يدور حول الأرض في مدار أبعد بكثير عن مدار هابل، وهو ما يعني أنه لن يكون بالإمكان إرسال مهام صيانة كالتي تجري اليوم؛ لذا حريٌّ بناسا أن تبنيه بشكل سليم من المرة الأولى. وإذا بدأ التلسكوب الجديد العمل في عام ٢٠١٤، كما هو مخطط له، فمن المفترض أن يقدم لنا رؤى جديدة رائعة للكون، بما فيها صور للمجرات التي تبعد عنا أكثر من ١٠ مليارات سنة ضوئية، والتي سنراها في وقت أقرب من وقت نشأتها عما كشفت عنه صور الحقل العميق للتلسكوب هابل. ستتعاون المعدات الأرضية الضخمة مع التلسكوب الجديد، مثلما فعلت مع سابقه، في الدراسة التفصيلية لكنز الأجرام الذي ستكشف عنه خطوتنا العظيمة التالية في عالم معدات الرصد الفضائية.

مع أن المستقبل يبدو غنيًّا بالاحتمالات، فإن علينا ألا نتجاهل الإنجازات المبهرة التي حققها الفيزيائيون الفلكيون خلال العقود الثلاثة المنصرمة، والتي تنبع من قدرتهم على ابتكار معدات جديدة لرصد الكون. كان كارل ساجان يحب أن يقول إن الجماد وحده هو ما لا ينبهر بما يحدث في الكون. وبفضل مشاهداتنا المحسنة صرنا نعلم الآن أكثر

مما عرفه ساجان بشأن تتابع الأحداث المدهش الذي أدى لوجودنا: التفاوتات الكمية في توزيع المادة والطاقة على مستوى أصغر من حجم البروتون، التي نتج عنها عناقيد مهولة من المجرات يبلغ عرضها ثلاثين مليون سنة ضوئية. ومن الفوضى إلى الكون اجتازت علاقة السبب والنتيجة هذه تضاعفًا في الحجم قدره $١٠^{٣٨}$ ضعفًا، وتضاعفًا للزمن قدره $١٠^{٤٢}$ ضعفًا. ومثل خيوط الحمض النووي الميكروسكوبية التي تحدد هوية الأنواع الكبيرة والخصائص المتفردة لأفرادها، فإن شكل الكون الحديث وسماته كانت محفورة في نسيج لحظاته المبكرة، واستمرت دون انقطاع على مر الزمان والمكان. إننا نشعر بهذا حين ننظر إلى السماء، ونشعر به حين ننظر للأرض، ونشعر به حين ننظر في أنفسنا.

الجزء الثالث

أصل النجوم

الفصل التاسع

من الغبار إلى الغبار

إذا نظرت إلى سماء الليل الصافية، بعيدًا جدًّا عن أضواء المدينة، فستحدد على الفور شريطًا غائمًا من الضوء الشاحب، تتخلله من موضع لآخر بقع مظلمة، يمتد من الأفق للأفق. هذا السديم الضبابي الذي يحمل لون بياض اللبن، المعروف منذ زمن بعيد بالطريق اللبني (قبل أن يعرف بمجرة الطريق اللبني أو درب التبانة)، يضم أضواء عدد مذهل من النجوم والسُّدم الغازية. سيرى من يرصدون درب التبانة بالنظارات المقربة أو التلسكوبات الموضوعة في أفنية منازلهم أن المناطق المظلمة المملة ليست سوى مجرد مناطق مظلمة مملة، لكن سيتضح لهم أن المناطق الساطعة ليست مجرد وهج منتشر، بل هي عدد لا يحصى من النجوم والسُّدم.

أورد جاليليو جاليلي في كتابه الصغير «المرسال الفلكي»، المنشور في البندقية عام ١٦١٠، أول توصيف للسماء كما تُرى من خلال التلسكوب، بما في ذلك توصيف لبقع الضوء في درب التبانة. تحدث جاليليو — الذي كان يشير لأداته باسم «المنظار»؛ نظرًا لأن كلمة تلسكوب telescope (التي تعني باليونانية «كاشف البُعد») لم تكن قد صيغت بعد — وهو لا يكاد يتمالك نفسه:

> بالإمكان رؤية الطريق اللبني نفسه، بواسطة المنظار، بوضوح شديد حتى إن جميع النقاشات التي حيرت الفلاسفة لأجيال عديدة ستتبدد على الفور على يد الحقيقة المنظورة، وسوف نتحرر بهذا من المجادلات اللفظية. فالمجرة ما هي إلا تجمع لعدد لا يحصى من النجوم الموزعة في عناقيد. وأينما وجهت منظارك ستقابل عددًا مهولًا من النجوم أمامك، بعضها يبدو ضخمًا إلى حدٍّ ما وسهل التمييز، لكن أغلب النجوم الصغيرة يصعب تمييزها. (جاليليو جاليلي،

المرسال الفلكي، ترجمة ألبرت فان هيلدن (شيكاجو: مطابع جامعة شيكاجو، ١٩٨٩)، ص٦٢.)

بطبيعة الحال كانت المناطق المكتظة بالنجوم في درب التبانة، التي وصفها جاليليو بأن بها «عددًا لا يحصى من النجوم»، هي موضع النشاط الفلكي الحقيقي. لماذا إذن قد يهتم أحدهم بسبر أغوار المناطق المظلمة التي لا تحوي أي نجوم منظورة؟ فالمناطق المظلمة، بناءً على مظهرها، هي على الأرجح ثقوب كونية؛ فتحات لمناطق خاوية لا نهاية لها من الفضاء.

مرت ثلاثة قرون قبل أن يتوصل أحدهم لماهية البقع المظلمة في الطريق اللبني، وأنها ليست ثقوبًا، بل تتكون في الحقيقة من سحب كثيفة من الغازات والغبار تحجب عنا الحقول النجمية الأبعد وتحوي في أعماقها الحاضنات النجمية. مسترشدًا باقتراحات مسبقة من الفلكي الأمريكي جورج كاري كومستوك، الذي تساءل لماذا تبدو النجوم البعيدة للغاية أكثر خفوتًا مما تستدعيه مسافاتها وحدها، حدد الفلكي الهولندي ياكوبوس كورنيليوس كابتين، في عام ١٩٠٩، المشتبه به الرئيسي. ففي ورقتين بحثيتين تحملان العنوان نفسه «عن امتصاص الضوء في الفضاء» (ياكوبوس كورنيليوس كابتين، أستروفيزيكال جورنال ٢٩، ٤٦، ١٩٠٩، ٣٠، ٢٨٤، ١٩٠٩.) قدم كابتين الدليل على أن السحب المظلمة — «الوسيط النجمي» الذي عثر عليه حديثًا — لا تحجب الضوء القادم من النجوم وحسب، بل تفعل هذا على نحو غير متساوٍ عبر ألوان الطيف الضوئي الصادر عن النجوم؛ فهي تمتص الضوء عند الطرف البنفسجي من طيف الضوء المرئي وتشتته، ومن ثم تضعفه، عما هو الحال مع طرف الضوء الأحمر. هذا الامتصاص الانتقائي يتخلص عمدًا من المزيد من الضوء البنفسجي عن الضوء الأحمر، وهو ما يجعل النجوم البعيدة تبدو أكثر حمرة من النجوم القريبة. إن مقدار هذا الاحمرار لضوء النجوم يتزايد طرديًّا مع إجمالي كمية المادة التي يقابلها الضوء في رحلته إلينا.

الهيدروجين والهيليوم العاديان، وهما المكونان الرئيسيان للسحب الغازية الكونية، لا يسببان احمرار الضوء. لكن الجزيئات المؤلفة من عدة ذرات تفعل هذا، خاصة تلك التي تحوي عنصري الكربون والسليكون. وحين تنمو الجسيمات النجمية لحجم كبير جدًّا بحيث يتعذر تسميتها بالجزيئات، في ظل وجود مئات الآلاف أو حتى ملايين الذرات في كل واحد منها، نطلق عليها الغبار. أغلبنا يعرف الغبار المنزلي، مع أن قلة منا قد يهمهم معرفة أنه في المنازل المغلقة يتكون أغلب الغبار من خلايا الجلد البشري الميتة

المنسلخة (إضافة إلى زغب الحيوانات الأليفة إذا كنا نملك واحدًا منها أو أكثر). على حد علمنا لا يحتوي الغبار الكوني على أي خلايا بشرية. ومع ذلك فهو يحتوي على مجموعة مدهشة من الجزيئات المعقدة، التي تطلق الفوتونات في نطاقي الأشعة تحت الحمراء والإشعاع الميكروني من الطيف. لم يملك الفيزيائيون الفلكيون تلسكوبات ميكرونية جيدة حتى الستينيات، أو تلسكوبات فعالة للأشعة تحت الحمراء حتى السبعينيات. لكن فور تصنيع وسائل الرصد هذه، تمكنوا من سبر أغوار العناصر الكيميائية الغنية التي يحويها الغبار الموجود بين النجوم. وعلى مدار العقود التي تلت هذه المبتكرات التقنية بدأت صورة مبهرة معقدة لمولد النجوم في التكون.

لن تكوِّن كل السحب الغازية نجومًا طوال الوقت. ففي أغلب الأوقات لا تدري السحابة ما عليها فعله. وفي حقيقة الأمر الفيزيائيون الفلكيون هم الذين يشعرون بالحيرة هنا. فنحن نعلم أن السحابة النجمية «تريد» الانهيار على نفسها بفعل جاذبيتها كي تكوِّن نجمًا واحدًا أو أكثر. لكن دوران السحابة، إلى جانب تأثيرات تحركات الغازات المضطربة تحول دون تحقيق هذا الغرض. والأمر عينه ينطبق على ضغط الغاز الذي درسناه في صفوف الكيمياء في المرحلة الثانوية. أيضًا تقاوم مجالات الجاذبية هذا الانهيار؛ إذ إنها تتغلغل في السحابة وتعيق حركة أي جسيمات مشحونة حرة الحركة موجودة هناك، وتقاوم الانضغاط، ومن ثم تغير الطريقة التي يمكن أن تستجيب بها السحابة لجاذبيتها الخاصة. المفزع في هذه التجربة الفكرية هو إدراكنا أنه لو لم يكن أحد يعلم مقدمًا بأن النجوم موجودة، لكان بمقدور الباحثين تقديم العديد من الأسباب المقنعة لعدم إمكانية تكوُّن النجوم مطلقًا.

تدور السحب الغازية العملاقة حول مركز المجرة، تمامًا مثلما تفعل مئات المليارات من النجوم الموجودة في مجرة درب التبانة، والمسماة على اسم شريط الضوء الذي ترسمه المناطق الأكثر اكتظاظًا بالنجوم عبر السماء. تتناثر النجوم نقاطًا صغيرة مضيئة، يبلغ حجم الواحدة منها ثواني ضوئية قليلة، وتطفو في محيط شاسع من الفضاء الخاوي، وأحيانًا تمر الواحدة منها قرب الأخرى كالسفن المبحرة بالليل. على النقيض من ذلك تتسم السحب الغازية بالضخامة. وتحتوي السحابة الواحدة، الممتدة في المعتاد لمساحة مئات السنوات الضوئية، على كتلة مقدارها مليون مرة قدر كتلة الشمس. وبينما تتهادى هذه السحب العملاقة في أرجاء المجرة، عادة ما تصطدم الواحدة بأخرى، وهذا يؤدي إلى تشابك أحشائها الداخلية المحملة بالغبار والغازات. في بعض الأحيان، اعتمادًا على

سرعاتهما النسبية وزاوية الاصطدام، تلتصق السحابتان معًا، وفي أحيان أخرى يؤدي اصطدام السحابتين إلى تمزيقهما إربًا.

إذا بردت السحابة لدرجة حرارة منخفضة ملائمة (أقل من ١٠٠ درجة فوق الصفر المطلق)، تلتصق الذرات المؤلفة لها عند اصطدامها بعضها ببعض، بدلًا من دفع بعضها بعضًا كما يحدث عند الاصطدام في درجات حرارة عالية. لهذا التحول الكيميائي تبعاته التي تؤثر على كل شيء. فالجزيئات المتزايدة — التي يحوي الواحد منها مئات الذرات الآن — تبدأ في تشتيت الضوء جيئة وذهابًا، متسببة في خفوت الضوء القادم من النجوم الواقعة خلفها. وحين تصير الجزيئات حبيبات غبار كاملة النمو تحتوي الواحدة منها على مليارات الذرات. تصنِّع النجوم المسنة حبيبات غبار مشابهة وتنفثها بهدوء في الفضاء النجمي خلال مرورها بمرحلة «العملاق الأحمر». على العكس من الجسيمات الصغيرة، لا تشتت حبيبات الغبار التي تحتوي على مليارات الذرات فوتونات الضوء المرئي القادمة من النجوم الواقعة خلفها، بل تمتص هذه الفوتونات ثم تشع طاقتها على صورة أشعة تحت الحمراء تستطيع الإفلات بسهولة من السحابة. وبينما يحدث هذا يدفع الضغط القادم من الفوتونات، المنقول إلى الجزيئات التي تمتصها، السحابة في اتجاه معاكس لمصدر الضوء. وهكذا تربط السحابة نفسها بضوء النجوم.

تولد النجوم حين تؤدي القوى التي تجعل السحابة أكثر كثافة مع الوقت إلى انهيارها على نفسها بفعل الجاذبية، وأثناء هذا يجذب كل جزء من السحابة الأجزاء الأخرى بحيث تصير أقرب. وبما أن الغاز الحار يقاوم الانضغاط والانهيار أكثر من الغاز البارد، يواجهنا إذن موقف عجيب. فيجب على السحابة أن تبرد أولًا قبل أن تسخن مجددًا أثناء تكوين النجم. بعبارة أخرى، يتطلب تكوين النجم الذي تصل حرارة قلبه إلى عشرة ملايين درجة، وهي الحرارة الكافية لبدء تفاعل الاندماج النووي، أن تصل السحابة أولًا إلى أبرد حالاتها الداخلية الممكنة. فقط عند درجات الحرارة الباردة للغاية، التي لا تتجاوز بضع عشرات الدرجات فوق الصفر المطلق، تستطيع السحابة الانهيار على نفسها والسماح للنجم بالبدء في التكون.

ما الذي يحدث داخل السحابة كي يتحول الانهيار إلى نجم وليد؟ لا يملك الفيزيائيون الفلكيون إلا التخمين. وبقدر ما يسعدهم تتبع الآليات الداخلية للسحب النجمية الهائلة، فإن تصنيع نموذج محاكاة حاسوبي يتضمن قوانين الفيزياء، وكافة التأثيرات الخارجية والداخلية المبذولة على السحابة، وكل التفاعلات الكيميائية ذات الصلة التي يمكن أن تقع

داخلها لا يزال أمرًا خارج نطاق قدراتنا. صعوبة أخرى تكمن في حقيقة تدعونا للتواضع تفيد بأن السحابة الأصلية تبلغ من الحجم مليارات المرات أضعاف حجم سحابة النجم التي نحاول تخليقها، والتي بدورها لها كثافة تبلغ ألف تريليون ضعف لمتوسط الكثافة داخل السحابة. في هذه المواقف، ما قد يكون مهمًّا على مستوى حجم معين قد لا يستحق القلق بشأنه على مستوى آخر من الحجم.

ومع ذلك، استنادًا إلى ما يمكننا رؤيته في الكون يمكننا أن نؤكد أنه في أعمق مناطق السحابة الغازية، وأكثرها ظلامًا وكثافة، حيث تهبط الحرارة إلى حوالي العشر درجات فوق الصفر المطلق، تتسبب الجاذبية في انهيار جيوب غازية، تستطيع بسهولة التغلب على مقاومة المجالات المغناطيسية وغيرها من المعيقات. يحول الانكماش طاقة جاذبية الجيوب الغازية إلى حرارة. وهكذا ترتفع الحرارة داخل كل واحدة من هذه المناطق — التي سرعان ما ستصير قلبًا للنجم الوليد — بسرعة شديدة خلال الانهيار، متسببة في تفتيت كل حبيبات الغبار في الجوار أثناء تصادمها. وفي النهاية تصل حرارة المنطقة المركزية للجيب الغازي المنهار إلى القيمة الحرجة البالغة ١٠ ملايين درجة فوق الصفر المطلق.

في درجة حرارة سحرية كهذه تتحرك بعض البروتونات (التي هي ببساطة ذرات هيدروجين مجردة من الإلكترونات التي تدور حول أنويتها) بسرعة كافية للتغلب على قوة التنافر بينها. تمكنها سرعتها العالية من الاقتراب بعضها من بعض بما يكفي لجعل «القوة النووية القوية» تربط بينها. هذه القوة، التي تعمل فقط على مسافات قصيرة للغاية، تربط البروتونات بالنيوترونات داخل كل أنوية الذرات. ينتج عن الاندماج النووي الحراري للبروتونات — «اندماج نووي» لأنه يدمج الجسيمات معًا في نواة واحدة و«حراري» لأنه يحدث في درجات حرارة عالية — أنوية الهيليوم، التي تحمل الواحدة منها كتلة أقل بقدر طفيف من مجموع الجسيمات التي اندمجت لتكونها. أما الكتلة التي تختفي خلال هذا الاندماج فتتحول إلى طاقة، بالصورة التي تصفها معادلة أينشتاين الشهيرة. إن الطاقة المجسدة على شكل كتلة (التي يبلغ قدرها دومًا الكتلة مضروبة في مربع سرعة الضوء) يمكن تحويلها إلى أشكال أخرى من الطاقة، كطاقة حركية إضافية للجسيمات التي تنشأ عن تفاعلات الاندماج النووي.

مع انتشار الطاقة المنتجة حديثًا من تفاعل الاندماج النووي إلى الخارج، يسخن الغاز ويسطع. بعد ذلك، على سطح النجم، تهرب الطاقة التي كانت حبيسة الأنوية

المنفردة إلى الفضاء على صورة فوتونات يولدها الغاز كلما تسببت الطاقة المنبعثة من تفاعل الاندماج في تسخينه لحرارة قدرها آلاف الدرجات. ومع أن هذه المنطقة من الغازات الحارة لا تزال كامنة داخل الرحم الكوني للسحابة الغازية العملاقة، فإن بمقدورنا أن نعلن لمجرة درب التبانة أن … نجمًا جديدًا قد ولد.

يعرف الفلكيون أن النجوم تتراوح في الكتلة بين عُشر كتلة الشمس إلى حوالي مائة مرة قدر كتلة الشمس. ولأسباب لم نفهمها جيدًا بعد تستطيع السحابة الغازية العادية تكوين العديد من الجيوب الغازية الباردة التي تنهار على نفسها في الوقت عينه، بحيث تتولد منها نجوم جديدة؛ بعضها صغير الحجم وبعضها عملاق. لكن عادة ما يكون عدد النجوم صغيرة الحجم أكبر بكثير؛ فمقابل كل نجم ذي كتلة عالية، تولد آلاف النجوم ذات الكتل المنخفضة. إن مشاركة نسبة قليلة للغاية من كل الغازات الموجودة في السحابة في مولد النجوم يعد من الأمور المستعصية على التفسير عند الحديث عن عملية تكون النجوم: فلماذا لا يتحول سوى هذا القدر اليسير من السحابة الغازية إلى نجوم؟ تكمن الإجابة غالبًا في الإشعاع الذي تنتجه النجوم الوليدة، والذي يميل إلى الحد من تكوُّن النجوم.

يمكننا بسهولة تفسير الحد الأدنى لكتلة النجوم الوليدة. فجيوب الغازات المنهارة ذات الكتل الأقل من حوالي عُشر كتلة الشمس تكون طاقة الجاذبية لديها ضعيفة لدرجة لا تمكنها من رفع حرارة قلوبها إلى العشرة ملايين درجة المطلوبة لإتمام تفاعل الاندماج النووي للهيدروجين. في هذه الحالة لن يولد نجم من خلال تفاعلات الاندماج النووي، بل ستكون النتيجة نجمًا غير مكتمل، جسمًا يسميه الفلكيون «القزم البني». لعدم وجود مصدر طاقة خاص بالقزم البني فهو يخبو بمعدل ثابت، ويشع مقدار الطاقة اليسير المتولد خلال عملية الانهيار الأولى. الطبقات الغازية الخارجية للقزم البني تكون باردة حتى إن الكثير من الجزيئات الكبيرة التي في المعتاد تُدمَّر في الغلاف الخارجي للنجوم الأعلى حرارة تظل صحيحة كما هي. يصعِّب السطوع الخافت للأقزام البنية للغاية من عملية كشفها؛ لهذا يتعين على الفيزيائيين الفلكيين إذا أرادوا العثور عليها توظيف مجموعة من الطرق المعقدة الشبيهة بتلك المستخدمة للعثور على الكواكب: كالبحث عن وهج الأشعة تحت الحمراء الخافت القادم من هذه الأجسام. وفقط في السنوات الأخيرة تمكن الفلكيون من اكتشاف أعداد كبيرة من الأقزام البنية بما يكفي لتصنيفها في أكثر من فئة.

أيضًا يمكننا بسهولة تعيين الحد الأقصى لكتلة النجم المتكون. فالنجم الذي تتجاوز كتلته كتلة الشمس بأكثر من مائة مرة سيكون سطوعه عظيمًا — تدفق مهول من الطاقة على صورة ضوء مرئي وأشعة تحت الحمراء وأشعة فوق البنفسجية — حتى إن أي غاز أو غبار إضافي ينجذب نحو النجم سيُصَد بفعل الضغط الشديد للضوء النجمي الصادر عنه. ستدفع بروتونات النجم حبيبات الغبار داخل السحابة، التي بدورها ستحمل الغاز بعيدًا عنها. هنا يتناسب ضوء النجم تناسبًا عكسيًّا مع ما يحيط به من غبار. إن ضغط الإشعاع هذا يعمل بكفاءة كبيرة حتى إن عددًا قليلًا من النجوم كبيرة الكتلة داخل أي سحابة مظلمة حاجبة سيتمتع بسطوع كافٍ لاختراق كل المواد الموجودة بها، بحيث يكشف للكون عن عشرات، إن لم يكن مئات، النجوم الوليدة — الشقيقة في الواقع — حتى تراها بقية المجرة.

كلما نظرت إلى سديم الجبار، الواقع أدنى النجوم الثلاثة الساطعة لحزام الجبار، في منتصف المسافة إلى سيف الصياد الخافت نسبيًّا، رأيت حاضنة نجمية من النوع الذي نتحدث عنه. ولدت آلاف النجوم داخل هذا السديم، وهناك آلاف غيرها تنتظر التكون، وسريعًا ما سيتكون عنقود نجمي عملاق يصير مرئيًّا أكثر وأكثر للكون مع تبدد السديم. إن أكبر النجوم الجديدة حجمًا، التي تشكل مجموعة تعرف بمعيّن الجبار، تعمل بدأب على نخر ثقب عملاق في منتصف السحابة التي تكونت منها. تكشف صور تلسكوب هابل الفضائي لهذه المنطقة عن وجود المئات من النجوم الجديدة في هذه المنطقة وحدها، وكل نجم وليد محاط بقرص كوكبي ناشئ مكون من الغبار والجزيئات الأخرى الآتية من السحابة الأصلية. وداخل هذه الأقراص ستبدأ مجموعات الكواكب في التكون.

حتى بعد تكون مجرة درب التبانة بعشرة مليارات عام، لا تزال عملية تكون النجوم مستمرة إلى اليوم في أماكن عدة في المجرة. ومع أن أغلب عمليات تكون النجوم في مجرة عملاقة تقليدية كمجرتنا قد حدثت بالفعل، فإننا محظوظون لأن نجومًا جديدة آخذة في التكون، وسيستمر هذا عدة مليارات قادمة من الأعوام. إن حظنا الحسن نابع من قدرتنا على دراسة عملية تكون النجوم والنجوم الوليدة، والبحث عن الأدلة التي ستكشف، بكل فخر، القصة الكاملة لتحول النجوم من مجموعة من الغازات الباردة والغبار إلى النضوج الساطع.

كم يبلغ عمر النجوم؟ لا يحمل النجم بطاقة عليها عمره، لكن أعمار النجوم تظهر بشكل ما من خلال أطيافها. فمن الوسائل العديدة التي طورها الفيزيائيون الفلكيون

لتحديد أعمار النجوم يعد الطيف الضوئي هو الوسيلة الأجدر بالثقة في تحليل الألوان المختلفة لضوء النجم بالتفصيل. فكل لون — كل طول موجي وكل تردد لموجات الضوء التي نرصدها — يخبرنا بقصة عن الكيفية التي صنعت بها المادة هذا الضوء النجمي، أو أثرت عليه حين غادر النجم، أو تصادف وقوعها على امتداد خط البصر بيننا وبين النجم. وقد تمكن الفيزيائيون — من خلال المقارنة الدقيقة للأطياف في المختبرات — من تحديد الطرق العديدة التي تؤثر بها الذرات والجزيئات المختلفة على نطاق الألوان التي يحملها الضوء المرئي. وبإمكانهم تطبيق هذه المعرفة الخصبة على أطياف النجم المرصودة، ومن ثم استنتاج عدد الذرات والجزيئات التي أثرت على الضوء من نجم بعينه، إضافة إلى حرارة تلك الجزيئات وضغطها وكثافتها. وقد عرف الفيزيائيون الفلكيون — بعد سنوات من مقارنة أطياف الضوء في المختبرات بأطياف النجوم، إلى جانب دراسة أطياف مختلف الذرات والجزيئات في المختبرات — كيف يقرءون طيف أي جرم سماوي وكأنه بصمة كونية مميزة، تكشف عن الظروف المادية الموجودة داخل الطبقة الخارجية للنجم، وهي المنطقة التي يتدفق منها الضوء مباشرة نحو الفضاء. إضافة إلى ذلك يستطيع الفيزيائيون الفلكيون تحديد الكيفية التي أثرت بها الذرات والجزيئات، التي تطفو في الفضاء النجمي في درجات حرارة أبرد بكثير، على طيف الضوء النجمي الذي يرصدونه، ومن ثم يمكنهم استنتاج التركيب الكيميائي للمادة الموجودة بين النجوم إلى جانب درجة حرارتها وكثافتها وضغطها.

في التحليل الطيفي كل نوع مختلف من الذرات أو الجزيئات يحكي قصة مختلفة. فعلى سبيل المثال، قد يكشف وجود جزيئات بعينها، تم التيقن من وجودها بسبب تأثيرها المميز على ألوان معينة في طيف الضوء، عن أن درجة حرارة الطبقة الخارجية لنجمٍ ما أقل من ٣ آلاف درجة مئوية (حوالي ٥ آلاف درجة فهرنهايت). في درجات الحرارة الأعلى تتحرك الجزيئات بسرعة كبيرة حتى إن اصطدامها بعضها ببعض يجعلها تتفتت إلى ذرات مفردة. يستطيع الفيزيائيون الفلكيون، من خلال التوسع في هذا النوع من التحليل ليشمل العديد من المواد المختلفة، أن يرسموا صورة شبه كاملة للظروف التفصيلية في الأجواء النجمية. يقال إن بعض الفيزيائيين الفلكيين المجدين في عملهم يعرفون عن أطياف النجوم أكثر بكثير مما يعرفونه عن أسرهم. وبالطبع قد يكون لهذا تأثير سلبي على العلاقات الأسرية، حتى لو كان يؤدي إلى زيادة فهم الإنسان للكون.

من كل عناصر الطبيعة — من بين أنواع الذرات المختلفة التي يمكنها تكوين أنماط معينة في طيف النجوم — يتعرف الفيزيائيون الفلكيون على نوع معين ويستخدمونه

في معرفة عمر أحدث النجوم عمرًا. هذا العنصر هو الليثيوم، ثالث أبسط العناصر الكيميائية وأخفها والثالث في الترتيب في الجدول الدوري للعناصر، والمألوف لبعض البشر على الأرض بوصفه مكونًا نشطًا لبعض الأدوية المضادة للاكتئاب. في الجدول الدوري للعناصر يأتي الليثيوم بعد الهيدروجين والهيليوم مباشرة، وهما العنصران الأشهر بفضل وجودهما بكميات أوفر بكثير في أنحاء الكون. خلال الدقائق الأولى من عمر الكون اندمجت ذرات الهيدروجين لتكون ذرات الهيليوم بأعداد كبيرة، ولم تتكون سوى كميات بسيطة من العناصر الأخرى الأثقل. نتيجة لذلك ظل الليثيوم عنصرًا نادرًا إلى حدٍّ ما، وأكثر ما يميزه عند الفيزيائيين الفلكيين هو الحقيقة الكونية التي تقضي بأن النجوم نادرًا ما تكوِّن المزيد من ذرات الليثيوم، لكنها تدمر فقط الموجود منها. إن الليثيوم يسير في طريق ذي اتجاه واحد لأن تفاعلات الاندماج النووي للنجوم أكثر فعالية في تدمير ذرات الليثيوم عن تخليقها. نتيجة لذلك يقل المخزون الكوني من الليثيوم بثبات، وعلى نحو مستمر؛ لذا، إذا كنت تريد بعضًا من هذا العنصر فالآن هو الوقت المناسب للحصول عليه.

تعد هذه الحقيقة البسيطة عن الليثيوم بمنزلة أداة مفيدة للغاية في يد الفيزيائيين الفلكيين لقياس أعمار النجوم. فكل النجوم تبدأ حياتها بحصة متساوية نسبيًّا من الليثيوم، متخلفة عن الاندماج النووي الذي حدث في أول نصف ساعة من عمر الكون، وخلال الانفجار العظيم ذاته. وما هذه الحصة المتساوية؟ حوالي واحد في كل مائة مليار نواة. وبعد أن يستهل النجم الوليد حياته بهذه «الثروة» من الليثيوم، تبدأ الأحوال في التدهور، فيما يتعلق بالليثيوم على أي حال، حيث تعمل التفاعلات النووية في قلب النجم على استهلاك مخزون الليثيوم ببطء. يتسبب الاختلاط الثابت، والعرضي أحيانًا، بين المادة الموجودة في قلب النجم والمادة الموجودة في طبقته الخارجية في حمل المادة إلى الخارج؛ لذا بعد بضعة آلاف من السنوات تستطيع الطبقة الخارجية للنجم أن تعكس ما حدث من قبل في قلبه.

حين يبحث الفيزيائيون الفلكيون عن أصغر النجوم عمرًا، فإنهم لذلك يتبعون قاعدة بسيطة مفادها: ابحث عن النجم ذي المخزون الأكبر من الليثيوم. إن عدد أنوية الليثيوم داخل النجم مقارنة بأنوية الهيدروجين مثلًا (المحدد من خلال الدراسة الحريصة لطيف النجم)، سيضع النجم في مكان ما على امتداد الخط البياني الذي يوضح ارتباط عمر النجم بمقدار الليثيوم الموجود في طبقته الخارجية. يستطيع الفيزيائيون

الفلكيون، باستخدام هذه الطريقة، أن يحددوا بثقة أصغر النجوم عمرًا في أي عنقود نجمي، ويمكنهم أن يعينوا لكل نجم عمرًا محددًا بناءً على محتواه من الليثيوم. ولأن النجوم تدمر الليثيوم بكفاءة، لا تحوي النجوم المسنة إلا القدر اليسير من هذا العنصر، هذا إن احتوت عليه من الأساس. لهذا تصلح هذه الطريقة على نحو طيب مع النجوم التي لا تتجاوز أعمارها بضع مئات الملايين من الأعوام. أما مع النجوم صغيرة السن فيكون أسلوب الليثيوم مفيدًا للغاية. تظهر دراسة حديثة أجريت على نيف وعشرين نجمًا صغير السن في سديم الجبار، وكلها لها كتلة قريبة من كتلة الشمس، أن أعمار هذه النجوم تتراوح من مليون إلى ١٠ ملايين عام. وفي يوم ما قد يتمكن الفيزيائيون الفلكيون من تحديد النجوم الأصغر سنًّا من ذلك، لكن في الوقت الحالي يعد المليون عام أفضل ما يسعهم التوصل إليه.

باستثناء تشتيت شرانق الغاز التي تكونت منها، لا تشغل مجموعات النجوم الوليدة أحدًا لفترة طويلة من الوقت، حيث تواصل دمج الهيدروجين إلى هيليوم في قلوبها في هدوء وتدمر مخزونها من أنوية الليثيوم كجزء من تفاعلات الاندماج النووي التي تجري داخلها. لكن لا شيء يستمر إلى الأبد. فعلى مدار ملايين عديدة من الأعوام «يتلاشى» السواد الأعظم من العناقيد النجمية التي في سبيلها للتكون، بفعل اضطرابات الجاذبية التي تسببها السحب العملاقة المارة بجوارها، وتتناثر النجوم في أرجاء المجرة.

بعد تكوُّن شمسنا بحوالي ٥ مليارات عام اختفت شقيقاتها من النجوم الأخرى، فمنها ما ظل على قيد الحياة ومنها ما لم ينج. ومن بين كل نجوم مجرة درب التبانة والمجرات الأخرى، تستهلك النجوم ذات الكتل المنخفضة وقودها ببطء شديد حتى إنها تعيش بشكل شبه أبدي. أما شمسنا، وما شابهها من النجوم متوسطة الكتلة، فستتحول في نهاية حياتها إلى عملاق أحمر، حيث تتمدد طبقاتها الغازية الخارجية مئات الأضعاف بينما تسير على طريق الفناء. هذه الطبقات الخارجية تصير مرتبطة ارتباطًا واهنًا بالنجم حتى إنها تنجرف بعيدًا في الفضاء، كاشفة عن قلب من الوقود النووي المستنفد الذي غذى النجم طوال حياة قوامها ١٠ مليارات عام. أما الغاز الذي سيعود إلى الفضاء فستجرفه السحب العابرة، ليشارك في تكوين نجوم جديدة.

إن النجوم ذات الكتلة الأعلى، مع ندرتها، تحمل كل الأوراق التطورية تقريبًا في جعبتها. فكتلتها العالية تمدها بأعلى درجات السطوع النجمي — إذ يصل سطوع

بعضها إلى مليون مرة قدر سطوع الشمس — ولأنها تستهلك وقودها النووي بسرعة أعلى بكثير من النجوم منخفضة الكتلة، فهي تعيش أقصر حياة بين كل النجوم؛ فلا تزيد أعمارها عن ملايين معدودة، أو أقل، من الأعوام. الاندماج النووي المستمر داخل النجوم عالية الكتلة يمكنها من تصنيع عشرات العناصر الكيميائية في قلوبها، بداية بالهيدروجين ومرورًا بالهيليوم والكربون والنيتروجين والأكسجين والنيون والماغنسيوم والسليكون والكالسيوم وهكذا دواليك وصولًا إلى الحديد. وتستمر هذه النجوم في تكوين المزيد من العناصر في مراحلها الأخيرة، التي يتجاوز سطوع النجم فيها سطوع المجرة الموجود فيها بأسرها. يطلق الفيزيائيون الفلكيون على هذه النجوم المستعرات العظمى، التي تشبه في شكلها (وإن اختلفت في أصلها) المستعرات العظمى من النوع Ia الموصوفة في الفصل الخامس. ينشر انفجار المستعر الأعظم كلًّا من المادة المصنعة من قبل إضافة إلى العناصر المكونة حديثًا في أرجاء المجرة، نافثًا الغازات في أنحائها ومثريًا السحب القريبة بالمادة الخام لتصنيع حبيبات غبار جديدة. يمر الانفجار بسرعة هائلة خلال هذه السحب النجمية، ضاغطًا ما تحويه من غازات وغبار، ومسببًا تكون بعض الجيوب ذات الكثافة العالية اللازمة لتكوين النجوم.

تتمثل الهدية الأعظم التي تمنحها هذه المستعرات العظمى للكون في مجموعة عناصر خلاف الهيدروجين والهيليوم؛ وهي العناصر التي تتكون منها الكواكب والكائنات وحيدة الخلية والبشر. نحن على الأرض نعيش على نتاج عدد لا يحصى من النجوم التي انفجرت منذ مليارات الأعوام، في حقب من تاريخ درب التبانة تسبق تكون شمسنا وكواكبها في أعماق إحدى السحب النجمية، المكونة نفسها من العناصر الكيميائية الغنية التي أمدتها بها الأجيال السابقة من النجوم ذات الكتلة العالية.

كيف توصلنا إلى هذه المعرفة الجوهرية؛ حقيقة أن كل العناصر عدا الهيليوم تكونت داخل النجوم؟ يرى المؤلفان أن إدراكنا أن المستعرات العظمى — الموت العنيف المتفجر للنجوم ذات الكتلة العالية — هي المصدر الأساسي لمخزون العناصر الثقيلة في الكون يستحق لقب الاكتشاف العلمي الأقل تقديرًا في القرن العشرين. هذا الإدراك غير المحتفى به ظهر في بحث طويل، نشر في عام ١٩٥٧ في الدورية الأمريكية «ريفيوز أوف مودرن فيزيكس» تحت عنوان «تألف العناصر داخل النجوم» كتبه كل من إي مارجريت بوربيدج، وجيفري آر بوربيدج، وويليام فاولر، وفريد هويل. في هذا البحث وضع العلماء

الأربعة إطار عمل نظريًّا وحوسبيًّا لتفسير وتنقيح أربعين عامًا من أفكار علماء آخرين بشأن موضوعين أساسيين: مصدر الطاقة النجمية، وتحول العناصر الكيميائية.

لطالما اعتبرت الكيمياء الكونية؛ السعي لفهم كيف يصنع الاندماج النووي الأنواع المتباينة من الأنوية ويدمرها، من الفروع المحيرة. ومن الأسئلة المحورية في هذا المجال: كيف تتصرف العناصر المختلفة حين تؤثر عليها درجات الحرارة والضغط المتباينة؟ هل تندمج العناصر أم تنقسم؟ بأي سهولة يحدث ذلك؟ هل هذه العمليات تطلق طاقة حركية أم تمتص الطاقة الحركية الموجودة سلفًا؟ وكيف تختلف العمليات لكل عنصر من عناصر الجدول الدوري؟

ما الذي يعنيه الجدول الدوري للعناصر بالنسبة لك؟ إذا لم تكن مختلفًا عن أغلب الطلاب السابقين فستذكر جدولًا عملاقًا معلقًا على حائط حجرة العلوم الدراسية، مزخرفًا بمربعات غامضة كُتبت فيها حروف ورموز مبهمة تحكي قصصًا عن المختبرات المغبرة التي يتجنبها الطلاب. لكن لمن يعرفون أسراره يحكي هذا الجدول مئات القصص من العنف الكوني الذي تسبب في إيجاد هذه العناصر. فالجدول الدوري يعرض قائمة بكل العناصر المعروفة في الكون، مرتبة تصاعديًّا وفق عدد البروتونات في كل نواة. أخف عنصرين هما الهيدروجين، الذي تحمل نواته بروتونًا وحيدًا، والهيليوم، الذي تحمل نواته بروتونين. وكما رأى واضعو بحث عام ١٩٥٧، ففي ظل ظروف الحرارة والكثافة والضغط الملائمة، يستطيع النجم استخدام الهيدروجين والهيليوم لتكوين بقية العناصر الموجودة في الجدول الدوري.

تعد تفاصيل عملية التكوين هذه، وتفاصيل التفاعلات الأخرى التي تدمر الأنوية بدلًا من أن تكونها، هي موضوع مجال الكيمياء النووية، التي تتضمن حساب «المقاطع العرضية للتصادم» لقياس الحد الذي يجب أن يقترب إليه أحد الجسيمات من جسيم آخر حتى يحدث بينهما تفاعل ملحوظ. يستطيع الفيزيائيون بسهولة حساب المقاطع العرضية للتصادم الخاصة بخلاطات الخرسانة، أو المنازل المتحركة التي تُنقل عبر الشارع على الشاحنات المسطحة، لكنهم يواجهون صعوبة كبيرة في تحليل سلوك الجسيمات دون الذرية الدقيقة المراوغة. ويُمكِّن الفهم المفصل للمقاطع العرضية للتصادم الفيزيائيين من التنبؤ بمعدلات التفاعلات النووية ومساراتها. وكثيرًا ما يؤدي بعض الغموض في جداول القطاعات العرضية إلى التوصل إلى استنتاجات خاطئة بدرجة كبيرة. الأمر هنا يشبه ما يحدث لو أنك حاولت التنقل عبر نظام مترو الأنفاق الخاص

بمدينة ما مسترشدًا بخريطة مترو الأنفاق لمدينة أخرى؛ فالنظرية الأساسية صحيحة، لكن التفاصيل قد تُهلكك.

على الرغم من جهل العلماء بالقطاعات العرضية الدقيقة للتصادم، فإنهم خلال النصف الأول من القرن العشرين كانوا يشكون في أنه لو وقعت تفاعلات نووية غريبة في أي مكان بالكون، فالمكان المرجح حدوثها فيه هو قلوب النجوم. في عام ١٩٢٠ نشر الفيزيائي النظري سير آرثر إدنجتون بحثًا بعنوان «البنية الداخلية للنجوم» ذكر فيه أن معمل كافنديش في إنجلترا، ذلك المركز الرائد في الأبحاث النووية والذرية، قد لا يكون المكان الوحيد في الكون الذي يتم فيه تحويل العناصر إلى عناصر أخرى:

> لكن هل من الممكن الإقرار بأن مثل هذا التحويل يحدث بالفعل؟ من العسير التأكيد على حدوث ذلك، لكن الأصعب من ذلك هو إنكاره ... وما يمكن عمله في معمل كافنديش قد لا يصعب عمله في الشمس. أعتقد أن هناك شكًّا كبيرًا في أن النجوم هي البوتقة التي تتجمع فيها الذرات الخفيفة الموجودة في السُّدم لتشكل عناصر أكثر تعقيدًا.

نُشر بحث إدنجتون، الذي أسس للبحث المفصل الذي أجراه بوربيدج وبوربيدج وفاولر وهويل، قبل عدة سنوات من اكتشاف ميكانيكا الكم، التي من دونها ما كان فهمنا لفيزياء الذرات والأنوية ليوصف إلا بالمتواضع على أفضل تقدير. وببصيرة استثنائية بدأ إدنجتون صياغة سيناريو للطاقة المولدة من النجوم عن طريق تفاعل الاندماج النووي الحراري الذي يحول الهيدروجين إلى هيليوم وغيره من العناصر:

> لسنا بحاجة للاقتصار على تكوين الهيليوم من الهيدروجين بوصفه التفاعل الوحيد الذي يزود [النجم] بالطاقة، مع أنه يبدو أن المراحل الأخرى من بناء العناصر تتطلب قدرًا أقل من إطلاق الطاقة، وفي بعض الأحيان امتصاصها. يمكن تلخيص الموقف بالكلمات الآتية: إن ذرات جميع العناصر مبنية من ذرات هيدروجين مرتبطة بعضها ببعض، ومن المحتمل أنها تطورت في وقت ما من الماضي من ذرات الهيدروجين، ويبدو قلب النجوم المكان المرجح لحدوث هذا التطور.

ينبغي لأي نموذج لتحويل العناصر أن يفسر خليط العناصر الموجود على كوكب الأرض وفي كل مكان آخر من الكون. وكي يقوم الفيزيائيون بهذا فهم يحتاجون إلى

العثور على العملية الجوهرية التي تولد بها النجوم الطاقة من خلال تحويل عنصر إلى عنصر آخر. بحلول عام ١٩٣١، بعد أن صارت نظريات ميكانيكا الكم ناضجة بما يكفي (رغم عدم اكتشاف النيوترون بعد)، نشر الفيزيائي الفلكي البريطاني روبرت دي اسكورت أتكنسون ورقة بحثية شاملة، يمكن تلخيصها بوصفها: «نظرية جامعة لكل من الطاقة النجمية وأصل العناصر … تُبنى وفقها العناصر الكيميائية المختلفة خطوة بخطوة من العناصر الأخف منها في أعماق النجوم، بواسطة الدمج المتعاقب للبروتونات والإلكترونات واحدًا في كل مرة.»

في العام نفسه نشر عالم الكيمياء النووية الأمريكي ويليام دي هاركنز ورقة بحثية ذكر فيها أن «العناصر ذات الأوزان الذرية المنخفضة [عدد البروتونات والنيوترونات داخل نواة الذرة] أكثر وفرة من العناصر ذات الأوزان الذرية الكبيرة، وأنه في المتوسط تزيد العناصر ذات الأعداد الذرية [عدد البروتونات داخل كل نواة] الزوجية بعشرة أضعاف عن العناصر ذات الأعداد الذرية الفردية التي تحمل قيمة مشابهة». خمن هاركنز أن الوفرة النسبية للعناصر تعتمد على الاندماج النووي وليس على عمليات كيميائية أخرى على غرار الاحتراق، وأن العناصر الثقيلة لا بد أنها تكونت من العناصر الأخف.

في النهاية أمكن للآلية المفصلة للاندماج النووي في النجوم أن تفسر شيوع العديد من العناصر في الكون، خاصة تلك العناصر التي سنحصل عليها في كل مرة نضيف نواة هيليوم تحوي اثنين من البروتونات، واثنين من النيوترونات إلى العنصر المكون من قبل. تمثل هذه العناصر الوفيرة ذات «الأعداد الذرية الزوجية» التي وصفها هاركنز. بيد أن وجود العديد من العناصر الأخرى وأعدادها النسبية ظل مستعصيًا على التفسير. لا بد من وجود وسائل أخرى لبناء العناصر في الكون.

يلعب النيوترون، المُكتشف عام ١٩٣٢ بواسطة الفيزيائي البريطاني جيمس تشادويك إبان عمله في معامل كافنديش، دورًا مهمًّا في تفاعل الاندماج النووي الذي عجز إدينجتون عن تخيله. إن الجمع بين البروتونات يستلزم قدرًا من العمل الصعب؛ لأن البروتونات ستنفر بعضها من بعض بالطبيعة، مثلما تفعل كل الجسيمات ذات الشحنات الكهربية المتشابهة. ولدمج بروتونين عليك أن تقرب بينهما بما يكفي (عادة من خلال الحرارة والضغط والكثافة الشديدة) للتغلب على قوى التنافر بحيث تعمل القوة النووية القوية على الربط بينهما. أما النيوترونات عديمة الشحنة فلا تتنافر مع

أي جسيمات؛ لذا بوسعها الدخول إلى نواة عنصر آخر والانضمام للجسيمات الأخرى المجمعة، التي تربط بينها القوة عينها التي تربط البروتونات. هذه الخطوة لا تؤدي إلى تخليق عنصر جديد؛ إذ يستلزم هذا أن يكون عدد البروتونات مختلفًا في كل نواة. لكن من خلال إضافة النيوترون يمكننا تخليق «نظير» لنواة العنصر الأصلي، التي تختلف فقط في التفاصيل عن النواة الأصلية؛ لأن إجمالي الشحنة الكهربية يظل كما هو دون تغيير. لبعض العناصر يتسم النيوترون الوافد حديثًا بعدم الاستقرار، وفي هذه الحالة يحول النيوترون نفسه بصورة تلقائية إلى بروتون (يظل كامنًا داخل النواة)، وإلكترون (يفلت منها على الفور). بهذه الطريقة، مثل الجنود الإغريق الذين دخلوا طروادة مختبئين في حصان خشبي، تستطيع البروتونات التسلل إلى النواة متنكرة على صورة نيوترونات.

إذا ظل تيار النيوترونات المتدفق عاليًا، تستطيع كل نواة امتصاص العديد من النيوترونات قبل أن يتحلل أول نيوترون منها. هذه النيوترونات سريعة الامتصاص تساعد في تكوين مجموعة من العناصر التي يتحدد أصلها من خلال «عملية الاقتناص السريعة للنيوترونات»، والتي تختلف عن مجموعة العناصر التي تنتج عن عملية الاقتناص البطيئة للنيوترونات، والتي يتحلل فيها كل نيوترون إلى بروتون قبل أن تقتنص النواة النيوترون التالي.

إن عمليتي الاقتناص السريعة والبطيئة للنيوترونات مسئولتان عن تخليق العديد من العناصر التي لم تكن لتتكون من خلال تفاعل الاندماج النووي التقليدي. وبالنسبة للعناصر المتبقية في الطبيعة فيمكن تكوينها من خلال بضع عمليات إضافية، منها تسليط الفوتونات عالية الطاقة (أشعة جاما) على نواة الذرات الثقيلة، التي ستتحلل إلى ذرات أصغر.

مع أن هذا الوصف لدورة حياة النجوم عالية الكتلة قد يبدو مفرطًا في البساطة، فإنه يمكننا التأكيد على أن كل نجم يعيش من خلال توليد الطاقة وإطلاقها من أعماقه، وأن هذه الطاقة هي التي تمكن النجم من الصمود أمام قوة الجاذبية. ودون إنتاج الطاقة من خلال تفاعل الاندماج النووي ستنهار كل كرة نجمية غازية على نفسها تحت وطأة ثقلها. هذا المصير ينتظر النجوم التي تستنزف مخزونها من أنوية الهيدروجين (البروتونات) في قلوبها. وكما ذكرنا من قبل، فبعد تحويل الهيدروجين إلى هيليوم، سيحول قلب النجم هائل الحجم الهيليوم إلى كربون، ثم يحول الكربون إلى أكسجين، والأكسجين إلى نيون، وهكذا دواليك وصولًا إلى الحديد. إن الدمج المتتابع لهذه العناصر

الأثقل فالأثقل يستلزم وجود حرارة عالية تمكن الأنوية من التغلب على قوى التنافر الطبيعية بينها. ولحسن الحظ يحدث هذا الأمر تلقائيًّا؛ لأنه في نهاية كل مرحلة وسيطة، حين يخبو مصدر طاقة النجم مؤقتًا، تنكمش المناطق الداخلية للنجم، وترتفع الحرارة، ويكون الطريق ممهَّدًا لتفاعل الاندماج التالي. وبما أنه لا شيء يستمر إلى الأبد، يواجه النجم في نهاية المطاف مشكلة عويصة هي أن اندماج الحديد لا ينتج طاقة، بل يمتصُّها. هذا أمر سيئ للنجم، الذي يعجز وقتها عن مقاومة قوة الجاذبية من خلال القيام بعمليات توليد جديدة للطاقة من خلال الاندماج النووي. عند هذه النقطة ينهار النجم بغتة، وترتفع حرارته الداخلية بسرعة كبيرة، ثم يحدث انفجار هائل يمزق النجم إربًا.

من خلال كل انفجار، تمكِّن وفرة النيوترونات والبروتونات والطاقة المستعرات العظمى من تخليق العناصر بطرق متباينة. وفي مقالهم المنشور عام ١٩٥٧ جمع بوربيدج وبوربيدج وفاولر وهويل بين (١) المبادئ المختبرة جيدًا لميكانيكا الكم، (٢) فيزياء الانفجارات، (٣) أحدث القطاعات العرضية للتصادم، (٤) العمليات المتعددة التي تحول العناصر إلى عناصر أخرى، (٥) أساسيات نظرية التطور الكوني التي تقتضي بوضوح وضع انفجارات المستعرات العظمى كمصدر أساسي لكل العناصر الأثقل من الهيدروجين والهيليوم في الكون.

مع وجود النجوم عالية الكتلة كمصدر للعناصر الثقيلة، والمستعرات العظمى كوسيلة توزيع العناصر، توصل الأربعة العظام لحل مشكلة أخرى بالمجان: فحين تتشكل العناصر الأثقل من الهيدروجين والهيليوم في قلوب النجوم، لن يعود ذلك على بقية الكون بالنفع في شيء ما لم تطلق هذه العناصر في الفضاء النجمي، بحيث تصير متاحة لتشكيل عوالم جديدة. لقد وحد بوربيدج وبوربيدج وفاولر وهويل فهمَنا للاندماج النووي في النجوم مع عملية إنتاج العناصر التي نراها في أرجاء الكون. وقد صمدت نظريتهم على مدار عقود من التحليل المتشكك، وبهذا يعد بحثهم المنشور نقطة تحول في معارفنا بشأن الطريقة التي يسير بها الكون.

أجل، الأرض وكل ما عليها جاء من الغبار النجمي. وكلا، لم نحل بعد كل مشكلاتنا الكيميائية الكونية. أحد الألغاز الحديثة نسبيًّا يتعلق بعنصر التكنيشيوم الكيميائي، الذي كان — في عام ١٩٣٧ — أول عنصر يخلَّق صناعيًّا في مختبرات إرثباوند. (كلمة تكنيشيوم technetium، وغيرها من الكلمات، تستخدم البادئة tech، المشتقة من الكلمة اليونانية technetos، بمعنى «اصطناعي».) لم نكتشف بعد هذا العنصر في كوكب

الأرض، لكن الفلكيين عثروا عليه في الغلاف الجوي لأجزاء من النجوم وهي في مرحلة العملاق الأحمر في مجرتنا. ليس في هذا أي مفاجأة؛ نظرًا لأن التكنيشيوم يتحلل كي يكوِّن عناصر أخرى، وهو يفعل هذا في فترة عمر نصف قدرها مليونًا عام وحسب، وهي أقصر بكثير من العمر المتوقع للنجوم التي رصدناه فيها. أدى هذا اللغز إلى وضع عدد من النظريات الغريبة، لكن لم تحظ أيٌّ منها بالقبول في أوساط الفيزيائيين الفلكيين.

للنجوم في مرحلة العملاق الأحمر خصائص كيميائية غريبة نادرة، لكنها مثيرة لاهتمام مجموعة من الفيزيائيين الفلكيين (أغلبهم من العاملين بالتحليل الطيفي) الذين تخصَّصوا في هذا الموضوع وينتجون «النشرة الإخبارية للعمالقة الحمراء ذات السمات الكيميائية الغريبة» ويوزعونها. هذه الدورية، التي لن تجدها متوفرة على أرفف بيع الصحف، تحتوي على أخبار مؤتمراتهم وتحديثات للأبحاث الجارية. من وجهة نظر العلماء المهتمِّين بهذا الأمر، هذه الألغاز الكيميائية لها نفس الجاذبية المرتبطة بموضوعات مثل الثقوب السوداء والنجوم الزائفة والكون المبكر. لكنك نادرًا ما تقرأ عنها، لماذا؟ لأن وسائل الإعلام، كالمعتاد، حددت مسبقًا ما يستحقُّ التغطية وما لا يستحقها. ومن الواضح أن أخبار المنشأ الكوني لكل العناصر الموجودة في جسدك وفي كوكبك لا تستحق الاهتمام.

ها هي فرصتك لإصلاح الضرر الذي أوقعه بك المجتمع المعاصر. ولنذهب معًا في رحلة عبر الجدول الدوري، متوقِّفين من مكان لآخر للتركيز على أكثر الحقائق إثارة للاهتمام عن العناصر المختلفة، وكي نظهر إعجابنا بالطريقة التي تكونت بها كل هذه العناصر من عنصري الهيدروجين والهيليوم اللذين نتجا عن الانفجار العظيم.

الفصل العاشر

حديقة العناصر

يجسد الجدول الدوري للعناصر، الذي وضعه الكيميائيون والفيزيائيون بشغف على مدار القرنين الماضيين، المبادئ التنظيمية التي تفسر السلوك الكيميائي لجميع العناصر التي نعرفها في الكون، أو التي قد نكتشفها يومًا. ولهذا السبب حريٌّ بنا أن ننظر إلى هذا الجدول كرمز ثقافي؛ نموذج لقدرة مجتمعنا على تنظيم معارفه. كما يشهد الجدول على تبني البشر من شتى الأمم لمغامرة العلم كمسعى مشترك، وأن هذا المسعى لم يقتصر على المختبرات وحسب، بل امتد إلى معجلات الجسيمات والفضاء، وحتى حدود الزمان والمكان في الكون بأسره.

وسط كل ما يحظى به الجدول الدوري من احترام مستحق، يفاجئ من حين لآخر أحد عناصره حتى العلماء المخضرمين بسمات غريبة، وكأنه وحش عجيب في حديقة وحوش متفردة أنتجتها قريحة كاتب الخيال د. سيوس. فكيف لنا أن نصدق أن الصوديوم، وهو معدن قاتل متفاعل يمكنك قطعه بسكين الزبد، وأن الكلور النقي، ذلك الغاز السام ذو الرائحة الخبيثة، عندما نجمعهما معًا، ينتج كلوريد الصوديوم، ذلك المركب غير المؤذي الضروري للحياة والمعروف بملح الطعام؟ وماذا عن الهيدروجين والأكسجين، اثنان من أكثر العناصر وفرة على سطح الأرض وفي الكون؟ أحدهما غاز متفجر، بينما الآخر محفز على الاشتعال، ومع ذلك عند جمعهما ينتجان لنا الماء، الذي يطفئ النار.

وسط كل التفاعلات الكيميائية الممكنة التي يقدمها الجدول الدوري، نجد أكثر العناصر أهمية للكون. وهذه العناصر تمكِّننا من رؤية الجدول من منظور الفيزيائيين الفلكيين. وسوف ننتهز هذه الفرصة ونشق طريقنا بهدوء عبر الجدول، بحيث نركز على أكثر عناصره تميزًا، ونبدي تقديرنا لغرائبه.

يؤكد الجدول الدوري على الحقيقة القائلة إن كل عنصر من عناصر الطبيعة يميز نفسه عن غيره من خلال «عدده الذري»؛ أي عدد البروتونات (الجسيمات موجبة الشحنة) في كل نواة لهذا العنصر. الذرات الكاملة بها إلكترونات (جسيمات سالبة الشحنة) تدور حول النواة عددها مساوٍ لعدد البروتونات، وبهذا تصير الشحنة الكهربية الإجمالية متعادلة. النظائر المختلفة للعنصر موجود بها العدد نفسه من البروتونات والإلكترونات، لكن عدد النيوترونات هو المختلف.

الهيدروجين هو أخف العناصر الكيميائية وأبسطها؛ إذ يحتوي على بروتون وحيد في نواته، وقد تكوَّن هذا العنصر بالكامل خلال الدقائق القليلة التي أعقبت الانفجار العظيم. ومن الأربعة والتسعين عنصرًا الموجودة بشكل طبيعي، يشغل الهيدروجين أكثر من ثلثي الذرات الموجودة في جسدك، إضافة إلى أكثر من ٩٠ بالمائة من جميع الذرات الموجودة في الكون، بما في ذلك الشمس وكواكبها العملاقة. والهيدروجين الموجود في قلب أكبر الكواكب التي تدور حول الشمس، المشتري، يقع عليه ضغط هائل من الطبقات المغلفة للكوكب، حتى إنه يتصرف كمعدن موصِّل للطاقة الكهرومغناطيسية أكثر من تصرفه كغاز، ويساعد في تكوين أقوى مجال مغناطيسي في كواكب المجموعة الشمسية. اكتشف الكيميائي الإنجليزي هنري كافنديش الهيدروجين عام ١٧٦٦ أثناء إجراء بعض التجارب على المركب H_2O (كلمة hydro-genes تعني باليونانية «تكوين الماء»، والمقطع gen يظهر في كلمات إنجليزية مثل genetic بمعنى «وراثي»)، مع أن شهرته بين الفلكيين تعود إلى أنه أول من تمكَّن من حساب كتلة الأرض بدقة عن طريق قياس ثابت الجاذبية G الذي يظهر في معادلة نيوتن الشهيرة عن الجاذبية. وفي كل ثانية من الليل والنهار تصطدم ٤٫٥ ملايين طن من أنوية الهيدروجين (البروتونات) المتحركة بسرعة بعضها ببعض؛ كي تكون أنوية الهيليوم داخل قلب الشمس الذي تصل حرارته إلى ١٥ مليون درجة (مئوية). حوالي ١ بالمائة من الكتلة الداخلة في تفاعل الاندماج هذا تتحول إلى طاقة، بينما تظل الـ ٩٩ بالمائة الأخرى على صورة هيليوم.

الهيليوم، ثاني أكثر العناصر وفرة في الكون، لا يمكن العثور عليه على كوكب الأرض إلا في عدد قليل من الجيوب التي تحبس الغازات تحت الأرض. أغلبنا يعرف الجانب المرح لغاز الهيليوم، والمتاح للتجربة من خلال المنتجات التي تحتوي عليه — كالبالونات — من المتاجر. فحين تستنشق الهيليوم، تتسبَّب كثافته المنخفضة مقارنة بغازات الغلاف الجوي في زيادة حدة ذبذبات الصوت في القصبة الهوائية؛ ما يجعلك

تتحدث بصوت أشبه بصوت شخصية ميكي ماوس. كمية الهيليوم الموجودة في الكون تساوي أربعة أضعاف كمية العناصر الأخرى مجتمعة (باستثناء الهيدروجين). من الأسس التي تقوم عليها نظرية الانفجار العظيم في علم الكونيات التنبؤ بأنه في كل أرجاء الكون لا تقل نسبة ذرات الهيليوم عن ٨ بالمائة من إجمالي الذرات، وهذا المقدار أنتجته كرة النار البدائية التي تكوَّنت في أعقاب مولد الكون مباشرة. وبما أن الاندماج النووي الحراري للهيدروجين داخل النجوم يُنتج المزيد من الهيليوم، تحتوي بعض مناطق الكون على نسبة أعلى من نسبة الثمانية بالمائة الأساسية، لكن — كما يتنبأ نموذج الانفجار العظيم — لم يعثر أحد على منطقة في مجرتنا أو في أي مجرة أخرى تقلُّ بها نسبة الهيليوم عن هذا الرقم.

قبل نحو ثلاثين عامًا من اكتشاف الفيزيائيين الفلكيين للهيليوم على الأرض وعزله، كانوا قد تمكَّنوا من رصده في الشمس من خلال الملامح المميِّزة التي رأوها في الطيف الضوئي للشمس خلال الكسوف الكلي الذي حدث عام ١٨٦٨. وبتلقائية أسموا هذه المادة المجهولة حتى ذلك الوقت على اسم هليوس، إله الشمس لدى الإغريق. ويعد الهيليوم — بقدرته على الطفو في الهواء التي تبلغ ٩٢ بالمائة من قدرة الهيدروجين، لكن دون سمات الهيدروجين المتفجِّرة التي دمرت المنطاد الألماني هندنبرج — الغاز المثالي لملء البالونات الكبيرة التي ينتجها متجر ماكي لاستخدامها في استعراضات عيد الشكر، التي تجعل من هذا المتجر ثاني أكبر المؤسسات استهلاكًا لهذا الغاز في العالم بعد الجيش الأمريكي.

الليثيوم، ثالث أبسط العناصر في الكون، له ثلاثة بروتونات في كل نواة. وقد تكوَّن الليثيوم — مثل الهيدروجين والهيليوم — بعد الانفجار العظيم بقليل. لكن على عكس الهيليوم، الذي يتكوَّن من خلال تفاعلات نووية تالية، يُدمَّر الليثيوم مع كل تفاعل نووي يحدث في النجوم. ولهذا السبب لا نتوقَّع أن نجد أي جسم أو منطقة تحوي من الليثيوم ما يزيد عن النسبة الصغيرة نسبيًّا — التي لا تزيد عن ٠,٠٠٠١ بالمائة من إجمالي الذرات — المُنتَجة في فترة الكون المبكر. وكما يتنبأ نموذجنا لتكون العناصر خلال النصف ساعة الأولى من عمر الكون، فلم يعثر أحد بعد على مجرة تحوي من الليثيوم ما يتخطى هذا الحد الأقصى. يمدنا كل من الحد الأقصى من الهيليوم والحد الأدنى من الليثيوم بقيد مزدوج فعال يمكن تطبيقه عند اختبار نظرية الانفجار العظيم في علم الكونيات. ثمة اختبار مشابه لنموذج الانفجار العظيم للكون، تم اجتيازه بنجاح

ساحق، يتمثل في مقارنة وفرة أنوية الديوتيريوم، التي تملك كل واحدة منها بروتونًا وحيدًا ونيوترونًا وحيدًا، بمقدار الهيدروجين العادي. لقد أنتج الاندماج النووي خلال الدقائق القليلة الأولى هذين النوعين من الأنوية، لكنه أنتج قدرًا أعظم بكثير من أنوية الهيدروجين البسيطة (المحتوية على بروتون وحيد).

يدين العنصران التاليان في الجدول الدوري، **البيريليوم** و**البورون** (اللذان تحمل أنويتهما أربعة وخمسة بروتونات على الترتيب)، بوجوديهما إلى تفاعل الاندماج النووي الحراري الذي حدث في الكون المبكر، شأنهما في ذلك شأن الليثيوم، وهما يظهران بأعداد متواضعة نسبيًّا في أرجاء الكون. إن ندرة العناصر الثلاثة الخفيفة التي تلي الهيدروجين والهيليوم على كوكب الأرض تسبب بعض المشكلات لمن يتناولها عَرَضًا؛ لأن تطور البشر استمر بنجاح دون التعرض لها. لكن المثير للدهشة أن تناول جرعات مُحكمة من الليثيوم يبدو أنه يسكِّن بعض أنواع المرض العقلي.

مع حلول **الكربون** — العنصر السادس — يشهد الجدول الدوري ازدهارًا كبيرًا. فذرات الكربون، التي تحتوي نواة الواحدة منها على ستة بروتونات، تظهر في أنواع من الجزيئات يفوق عددها الجزيئات غير المحتوية على الكربون مجتمعة. إن وفرة عنصر الكربون في أرجاء الكون — الذي يتكون في قلوب النجوم، ويتحرَّك بعنف على أسطحها، ثم ينطلق بكَمِّيَّات وفيرة في أنحاء مجرة درب التبَّانة — إلى جانب السهولة التي يكون بها الكربون المركبات الكيميائية؛ يجعلان الكربون أفضل عنصر تقوم عليه الكيمياء وتنوع الحياة. أيضًا يعد **الأكسجين** (الذي تحمل نواته ثمانية بروتونات)، والذي يناهز الكربون في الوفرة، من العناصر الوفيرة عالية التفاعل في الكون، وهو يتكوَّن بالمثل في النجوم المسنة والنجوم التي تنفجر كمستعرات عظمى، ثم ينطلق منها. إن كلًّا من الكربون والأكسجين يعدان من المكونات الأساسية للحياة التي نعرفها. العمليات نفسها تسبَّبت في إيجاد وتوزيع عنصر **النيتروجين**، العنصر السابع، الذي يوجد هو الآخر بكمِّيَّات وفيرة في أنحاء الكون.

لكن ماذا عن الحياة التي لا نعرفها؟ هل يمكن لأشكال أخرى من الحياة أن تستخدم عناصر مختلفة كأساس لأشكالها المعقدة؟ ماذا عن حياة مبنية على **السليكون**، العنصر رقم ١٤؟ يقع السليكون أسفل الكربون مباشرة في الجدول الدوري، وهو ما يعني (انظر كيف يكون الجدول مفيدًا لمن يعرفون أسراره) أن السليكون يستطيع تكوين أنواع المركبات الكيميائية نفسها التي يكوِّنها الكربون، مع وضع السليكون محل الكربون. في

النهاية نتوقع أن يظل الكربون أعلى مكانة من السليكون؛ ليس فقط لأن الكربون يزيد عن السليكون بعشرة أضعاف في الكون، لكن أيضًا لأن السليكون يكون روابط كيميائية تكون إما أقوى بكثير أو أضعف بشكل ملحوظ من تلك التي يكوِّنها الكربون. وعلى وجه التحديد تتسبَّب قوة الروابط بين السليكون والأكسجين في تكوين الصخور الصلبة، بينما تفتقر الجزيئات المعقَّدة المبنية على السليكون إلى الصلابة الكافية التي تمكِّنها من تحمُّل الضغوط البيئية التي تتحمَّلها الجزيئات المبنية على الكربون. لكن هذه الحقائق لا تمنع كتَّاب الخيال العلمي من مناصرة السليكون، وبهذا يجعلون عالم البيولوجيا الفلكية في حالة من الترقُّب الدائم، ويجعلوننا نتساءل عن الصورة التي سيكون عليها أول أشكال الحياة القادمة من خارج الأرض.

إضافة إلى كون **الصوديوم** (الذي تحمل نواته أحد عشر من البروتونات) مكونًا فعَّالًا في ملح الطعام، فإنه يتوهَّج في أرجاء الأرض على صورة غاز الصوديوم الحار الموجود في غالبية مصابيح الإضاءة في شوارع المدن. هذه المصابيح «تشتعل» بسطوع أكبر، ولوقت أطول، وتستهلك طاقة أقل من المصابيح التقليدية. وهذه المصابيح تأتي في نوعين: مصابيح الضغط العالي الشائعة، التي تشع ضوءًا أبيض ضاربًا إلى الصفرة، ومصابيح الضغط المنخفض الأقل شيوعًا التي يبدو ضوءُها برتقاليًّا. وقد اتضح أنه مع أن مصابيح الإضاءة الصناعية كافة تضايق الفلكيين، فإن مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض هي أقلها ضررًا؛ لأن التداخل الذي تسببه، والمحدود في نطاق ضيق من الألوان، يمكن تبيُّنه بسهولة ومن ثم إزالته من بيانات التلسكوب. وفي نموذج للتعاون بين المدن والتلسكوبات حوَّلت مدينة توسكان بولاية أريزونا — وهي أقرب مركز حضري إلى مرصد كيت بيك الوطني — بالاتفاق مع علماء الفلك المحليين، كافة مصابيح إضاءة الشوارع إلى مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض، التي أثبتت أنها أعلى كفاءة من المصابيح الأخرى؛ ومن ثَمَّ وفَّرت الطاقة للمدينة.

يمثل **الألومنيوم** (الذي تحمل نواته ثلاثة عشر بروتونًا) حوالي ١٠ بالمائة من القشرة الأرضية، ومع ذلك فقد ظل غير معروف للقدماء وغير مألوف لأجدادنا بفضل امتزاجه الفعَّال للغاية بالعناصر الأخرى. إن تحديد الألومنيوم وعزله لم يجرِ إلا في عام ١٨٢٧، كما لم يدخل الألومنيوم في تصنيع الأدوات المنزلية إلا في أواخر الستينيات، حين استعاض المصنِّعون عن علب ورقائق القصدير بعلب ورقائق الألومنيوم. ولأن الألومنيوم

المصقول يعكس الضوء المرئي بصورة شبه مثالية، يبطِّن الفلكيون اليوم جميع مرايا تلسكوباتهم تقريبًا بطبقة رقيقة من ذرات الألومنيوم.

مع أن **التيتانيوم** (الذي تحمل نواته اثنين وعشرين بروتونًا) له كثافة أعلى من الألومنيوم بنسبة ٧٠ بالمائة، فإنه أقوى منه بأكثر من ضعفين. وقد جعلت قوة التيتانيوم وخفته النسبية — خاصة وأنه العنصر التاسع من حيث الوفرة في القشرة الأرضية — منه العنصر المفضل في العديد من التطبيقات الحديثة، مثل أجزاء الطائرات الحربية التي تحتاج أن تُصنَّع من معدن خفيف قوي.

في أغلب أنحاء الكون تزيد ذرات الأكسجين في العدد عن ذرات الكربون. وفي النجوم، فور أن تلتصق كل ذرة كربون بذرة أو أكثر من ذرات الأكسجين المتاحة لتكوين جزيئات أول أو ثاني أكسيد الكربون، ترتبط ذرات الأكسجين المتبقِّية بالعناصر الأخرى، كالتيتانيوم. إن طيف الضوء القادم من النجوم في طور العملاق الأحمر تتخلَّله بعض السمات الخاصة بثاني أكسيد التيتانيوم (جزيئات TiO_2)، التي في حد ذاتها ليست بالغريبة على الأحجار الكريمة على الأرض؛ فأحجار الياقوت الأزرق والأحمر التي تشع على شكل نجوم تدين بشكلها هذا إلى شوائب ثاني أكسيد التيتانيوم التي تتخلل شبكاتها البلورية، بينما تضفي شوائب أكسيد الألومنيوم عليها ألوانًا إضافية. إضافة إلى ذلك يدخل ثاني أكسيد التيتانيوم في الطلاء الأبيض المستخدم في دهان قِبَاب التلسكوبات؛ لأنه يشع أشعة تحت الحمراء بكفاءة عالية، وهو ما يقلل الحرارة المتراكمة داخل القبة أثناء النهار. ومع حلول الليل، حين تُفتح القبة، تنخفض درجة الحرارة قرب التلسكوب بسرعة إلى حرارة هواء الليل؛ الأمر الذي يقلل انكسار الضوء بفعل الغلاف الجوي، ويسمح لضوء النجوم وغيرها من الأجرام الكونية بالدخول بدقة ووضوح أكبر. ومع أن تسمية عنصر التيتانيوم لم تؤخذ من جرم كوني، فإنها مشتقة من كلمة تعني العمالقة في الأساطير الإغريقية، والأمر نفسه ينطبق على القمر «تايتان»، أكبر أقمار زحل.

قد يكون الكربون العنصر الأهم للحياة، لكن الكثيرين يعتبرون **الحديد**، العنصر رقم ٢٦، أهم العناصر في الكون قاطبة. تصنِّع النجوم الضخمة العناصر في قلوبها، على امتداد الجدول الدوري من خلال زيادة عدد البروتونات في الأنوية، بداية بالهيليوم ومرورًا بالكربون والأكسجين والنيون، وهكذا وصولًا إلى الحديد. يتَّسم الحديد، ببروتوناته الستة والعشرين، ونيوتروناته التي لا تقل عن ذلك الرقم، بخاصية مميزة مستمَدَّة من قواعد ميكانيكا الكم التي تحكم التفاعل بين البروتونات والنيوترونات؛ فنواة الحديد لها أعلى

قوة ارتباط للجسيمات النووية (البروتونات أو النيوترونات). هذا معناه بسيط؛ فإذا أردت شطر نواة الحديد (ما يطلق عليه الفيزيائيون عملية «الانشطار»)، عليك تزويدها بطاقة إضافية. على الجانب الآخر، إذا أردت الجمع بين ذرتي حديد (العملية المسماة بـ «الاندماج»)، فسيمتص هذا التفاعل طاقة هو الآخر؛ أي إنك ستحتاج إلى طاقة لدمج أنوية الحديد، وستحتاج إلى طاقة لشطرها. لكن مع العناصر الأخرى ينطبق هذا مع إحدى العمليتين وحسب.

لكن النجوم تعمل طوال الوقت على تحويل الكتلة إلى طاقة وفق المعادلة ط = ك × س^{٢}، وهو الأمر الواجب عليها فعله لتجنب الانهيار تحت وطأة جاذبيتها. وحين تندمج الأنوية في قلوب النجوم، تفرض الطبيعة حدوث تفاعل الاندماج النووي الذي يطلق الطاقة، وهو ما يحدث بالفعل. لكن حين يوشك النجم على الانتهاء من دمج أغلب الأنوية الموجودة في قلبه إلى أنوية حديد، يكون قد استنفد كافة خياراته لاستخدام تفاعل الاندماج النووي الحراري لتوليد الطاقة؛ لأن أي تفاعل اندماج آخر سيستهلك الطاقة ولن يطلقها. ومن دون مصدر للطاقة من عملية الاندماج النووي الحراري، ينهار النجم تحت وطأة وزنه، ثم يرتدُّ على الفور في انفجار مَهُول يُعرف بالمستعر الأعظم، الذي يفوق سطوعه مليارات الشموس لأكثر من أسبوع. السبب وراء حدوث هذه المستعرات العظمى هو تلك الخاصية المميِّزة لنواة الحديد؛ رَفْضُها أن تنشطر أو تندمج إلا باستهلاك الطاقة.

بوصف كل من الهيدروجين والهيليوم والليثيوم والبيريليوم والبورون والكربون والنيتروجين والأكسجين والألومنيوم والتيتانيوم والحديد، نكون قد ألقينا نظرة سريعة على كل العناصر التي يعتمد عليها الكون — والحياة على الأرض — تقريبًا.

لنلقِ الآن — بدافع من الفضول لا أكثر — نظرة سريعة على بعض العناصر الغريبة في الجدول الدوري. لن نقابل بالتأكيد أيَّ كميات وفيرة من هذه العناصر، لكن العلماء لا يرونها فقط كأمثلة مثيرة للاهتمام على الوفرة التي تقدمها الطبيعة، بل أيضًا يجدونها مفيدة في بعض الظروف الخاصة. تدبر، مثلًا، معدن **الجاليوم** اللدن (الذي تحمل نواته واحدًا وثلاثين بروتونًا). للجاليوم نقطة انصهار منخفضة للغاية حتى إن حرارة يدك تكفي لإسالته. إضافة إلى ذلك يعد الجاليوم العنصر الفعال في مادة كلوريد الجاليوم التي تفيد الفيزيائيين الفلكيين في تجاربهم لكشف جسيمات النيوترينو الآتية من قلب الشمس. فلقنص هذه الجسيمات المراوغة يصنِّع الفيزيائيون الفلكيون

وعاء سعة ١٠٠ طن من كلوريد الجاليوم السائل، ويضعونه في أعماق الأرض (لحجب تأثيرات الجسيمات الأخرى الأقل قدرة على الاختراق)، ثم يراقبونه بحرص لرؤية نتائج الاصطدام بين النيوترينوات وأنوية الجاليوم، وهذا الاصطدام هو الذي يحول أنوية الجاليوم إلى أنوية الجرمانيوم، التي تحمل الواحدة منها اثنين وثلاثين بروتونًا. كل عملية تحول من الجاليوم إلى الجرمانيوم تنتج فوتونات للأشعة السينية، يمكن رصدها وقياسها في كل مرة يقع اصطدام بإحدى الذرات. باستخدام «تلسكوبات النيوترينو» المصنوعة من كلوريد الجاليوم، تمكن الفيزيائيون الفلكيون من حل ما عُرف بـ «مشكلة النيوترينوات الشمسية»، التي نبعت من عثور كاشفات النيوترينو السابقة على قدر أقل من النيوترينوات مما تنبأت نظرية الاندماج النووي الحراري في قلب الشمس بوجوده.

كل نواة من عنصر **التكنيشيوم** — وعدده الذري ٤٣ — مشعة، وهو يتحلل على نطاق يتراوح من بضع ثوانٍ إلى بضعة ملايين من الأعوام إلى أنواع أخرى من الأنوية؛ لذا من غير المدهش ألا نجد التكنيشيوم في أي مكان على الأرض باستثناء معجلات الجسيمات، حيث يجري تصنيعه حسب الطلب. ولأسباب ليست معروفة تمامًا يوجد التكنيشيوم في الغلاف الجوي لمجموعة فرعية مختارة من النجوم في طور العملاق الأحمر. وكما ذكرنا في الفصل السابق، فهذا لا يلفت انتباه الفيزيائيين الفلكيين البتة — ما عدا حقيقة أن التكنيشيوم له عمر نصف قدره مليونا عام فقط — وهو عمر أقصر بكثير من عمر النجوم التي نجده فيها. هذا يثبت أن النجوم يستحيل أن تكون قد ولدت وهي تحمل هذا العنصر بها؛ إذ إنه لو حدث هذا، فلم يكن ليتبقى أي قدر منه إلى اليوم. أيضًا يفتقر الفيزيائيون الفلكيون إلى أي آلية معروفة لتخليق التكنيشيوم في قلوب النجوم، ناهيك عن رفعه إلى السطح حيث يمكننا رؤيته، وهي الحقيقة غير المريحة التي نتجت عنها تفسيرات عجيبة، لا يحظى أي منها بموافقة مجتمع الفيزيائيين الفلكيين.

يعد **الإيريديوم**، إلى جانب الأوسميوم والبلاتين، أعلى ثلاثة عناصر كثافة في الجدول الدوري؛ إذ إن القدمين المكعبين من الإيريديوم (عدده الذري ٧٧) يزنان ما يعادل سيارة بويك، وهو ما يجعله أحد أفضل مثقلات الورق في العالم لقدرته على تحدي أي مراوح مكتبية أو رياح آتية من النوافذ. أيضًا يعد الإيريديوم أشهر دليل دامغ يستعين به العلماء. ففي كل أنحاء العالم، تظهر طبقة رقيقة من المواد الغنية بالإيريديوم في الطبقة الجيولوجية التي تميز الحد الفاصل بين العصر الطباشيري والعصر الثلثي، التي ترسبت منذ ٦٥ مليون عام. ومن غير المصادفة أن يؤمن أغلب علماء الأحياء بأن هذه الطبقة

تميز أيضًا الوقت الذي انقرضت فيه كل الكائنات البرية الأكبر حجمًا من سلة الخبز، بما في ذلك الديناصورات المهيبة. الإيريديوم عنصر نادر على سطح الأرض، لكنه أكثر شيوعًا بعشر مرات في الكويكبات المعدنية. وبغض النظر عن قصة انقراض الديناصورات التي تؤمن بصحتها، ففرضية الكويكب القاتل البالغ عرضه عشرة أميال القادم من الفضاء الخارجي، والقادر على نثر طبقة من الحطام الحاجب للضوء حول العالم قبل أن يهبط بهدوء بعدها بشهور عديدة، تبدو الآن أكثر إقناعًا.

لا نعرف كيف كان ألبرت سيشعر حيال هذا الأمر، لكن حين اكتشف الفيزيائيون عنصرًا غير معروف في الحطام المتخلف عن اختبارات القنبلة الهيدروجينية فوق المحيط الهادي (نوفمبر ١٩٥٢)، أسموه **أينشتاينيوم** تكريمًا له. وربما كان حريًّا بهم أن يسموه اسمًا أكثر ملاءمة هو أرماجدونيوم بدلًا من ذلك.

بينما يستقي الهيليوم اسمه من إله الشمس نفسه، استقت عشرة عناصر أخرى في الجدول الدوري أسماءها من الأجرام التي تدور حول الشمس:

كلمة **الفسفور** التي تعني «حامل الضوء» بالإغريقية، كانت الاسم القديم لكوكب الزهرة حين كان يظهر قبيل شروق الشمس في سماء الفجر.

أما **السلينيوم** فيشتق اسمه من كلمة إغريقية بمعنى القمر، وقد اكتسب هذا العنصر هذه التسمية لأنه عادة ما كان يُعثر عليه مصاحبًا لعنصر التيلوريوم، الذي كان قد سمي بالفعل باسم مشتق من كلمة لاتينية تعني الأرض.

في الأول من يناير عام ١٨٠١، في أول أيام القرن التاسع عشر، اكتشف الفلكي الإيطالي جوسيبي بياتزي كوكبًا جديدًا يدور حول الشمس داخل الفجوة الكبيرة المثيرة للريبة التي تفصل المريخ عن المشتري. أطلق بياتزي، محافظًا على تقليد تسمية الكواكب على أسماء الآلهة الرومانية، على هذا الجرم اسم سيريس — ربة الحصاد — وهي الكلمة نفسها التي قدمت جذر الكلمة الإنجليزية cereal التي تعني الحبوب. تسببت الإثارة التي اجتاحت المجتمع العلمي نتيجة اكتشاف بياتزي في تسمية العنصر التالي المُكتشف باسم **السيريوم**؛ وذلك تكريمًا له. بعدها بعامين اكتُشف كوكب آخر يدور حول الشمس في الفجوة نفسها التي يشغلها سيريس. سُمي هذا الجرم باسم بالاس، على اسم ربة الحكمة لدى الرومان، وكما حدث مع عنصر السيريوم من قبل، سمي العنصر المكتشف بعد ذلك باسم **بالاديوم** تكريمًا له. انتهى حفل التسمية هذا بعد عقود قليلة، حين اكتُشفت عشرات الكواكب المشابهة في الموقع نفسه تقريبًا، وبعد تحليل دقيق تبيَّن

أن هذه الأجرام أصغر بكثير من أصغر الكواكب المعروفة. تبيَّن وجود صف كامل من الأجرام داخل المجموعة الشمسية، تتكون من كتل صخرية ومعدنية صغيرة وعرة. وتبيَّن أن سيريس وبالاس ليسا من الكواكب، بل من الكويكبات، وهي أجرام لا يتجاوز عرضها مئات معدودة من الأميال. وهما موجودان في حزام الكويكبات، الذي نعرف الآن أنه يحتوي على ملايين منها، صنف الفلكيون منها وأسموا ما يربو على الخمسة عشر ألفًا؛ وهو العدد الذي يتجاوز عدد العناصر التي يحويها الجدول الدوري بكثير.

معدن **الزئبق**، بالإنجليزية mercury، الذي يظل في حالة سائلة في درجة حرارة الغرفة، يدين باسمه إلى عطارد (mercury)، إله التجارة سريع الحركة لدى الرومان. والأمر عينه ينطبق على كوكب عطارد، أسرع الكواكب حركة بين كواكب المجموعة الشمسية.

جاء اسم **الثوريوم** من ثور، الإله الإسكندنافي ذي المطرقة القادر على تسخير الرعد، الذي يقابله الإله جوبيتر (سمي كوكب المشتري على اسمه بالإنجليزية)، الذي يسخر الصواعق والبرق، لدى الرومان. والعجيب في الأمر أن صور تلسكوب هابل الفضائي الحديثة للمناطق القطبية في كوكب المشتري تظهر وجود تفريغات واسعة من الشحنات الكهربية في أعماق طبقات سحبه المضطربة.

أما زحل، الكوكب المفضل لدى الكثيرين، فلا يوجد عنصر مسمى باسمه. لكن الكواكب أورانوس ونبتون وبلوتو ممثلين بعناصر شهيرة؛ فعنصر **اليورانيوم**، المكتشف عام ١٧٨٩، حصل على هذه التسمية تكريمًا للكوكب الذي اكتشفه ويليام هيرشل قبلها بثمانية أعوام وحسب. كل نظائر اليورانيوم غير مستقرة، وهي تتحلل من تلقاء نفسها ببطء إلى عناصر أخرى أخف، وهي العملية التي يصاحبها إطلاق للطاقة. وإذا استطعت تسريع معدل التحلل بواسطة «تفاعل متسلسل» بين أنوية اليورانيوم، فسيكون بين يديك طاقة متفجرة يمكن استخدامها كقنبلة. في عام ١٩٤٥ استخدمت الولايات المتحدة أولى قنابل اليورانيوم (المسماة بالقنبلة الذرية) في الحرب، ومحت بها مدينة هيروشيما اليابانية. يعد اليورانيوم، بنواته التي تحمل اثنين وتسعين بروتونًا، أضخم وأثقل العناصر الموجودة بصورة طبيعية، بالرغم من ظهور آثار لعناصر أخرى أضخم وأثقل في الأماكن التي يجري فيها استخراج اليورانيوم.

إذا كان كوكب أورانوس يستحق تسمية أحد العناصر باسمه، فالحال لا يختلف مع نبتون. لكن على العكس من أورانوس، الذي حمل العنصر اسمه بعد اكتشافه

بقليل، اكتُشف النبتونيوم عام ١٩٤٠ في معجل الجسيمات المسمى بيركلي سايكلوترون، بعد سبعة وتسعين عامًا من عثور الفلكي الألماني يون جال على نبتون في بقعة من السماء تنبَّأ بها الرياضي الفرنسي جوزيف لي فيريي، الذي درس السلوك المداري الغريب لأورانوس، واستنتج وجود كوكب آخر أبعد منه. وكما يأتي نبتون بعد أورانوس في المجموعة الشمسية، يأتي النبتونيوم بعد اليورانيوم في الجدول الدوري للعناصر.

اكتشف فيزيائيو الجسيمات العاملون في بيركلي سايكلوترون أكثر من نصف دستة عناصر غير موجودة في الطبيعة، من بينها **البلوتونيوم**، الذي يأتي خلف النبتونيوم مباشرة في الجدول الدوري، وسُمِّيَ على اسم كوكب بلوتو، الذي اكتشفه الفلكي الشاب كلايد تومبو عام ١٩٣٠ في صورة مأخوذة من مرصد لويل بأريزونا. وكما حدث مع اكتشاف سيريس منذ ١٢٩ عامًا، تسبب الأمر في إثارة شديدة. كان بلوتو أول كوكب يكتشفه أمريكي، وفي غياب بيانات تجريبية دقيقة، كان يعتقد أن حجم الكوكب وكتلته يعادلان حجم وكتلة كل من أورانوس ونبتون. لكن مع تحسن سبل قياس حجم بلوتو، أخذ الكوكب يصغر في الحجم. ولم تترسخ معرفتنا عن أبعاد بلوتو إلا في أواخر السبعينيات، أثناء مهمة فوياجر إلى تخوم المجموعة الشمسية. ونحن الآن نعلم أن كوكب بلوتو الجليدي البارد هو أصغر كواكب المجموعة الشمسية بفارق كبير، والمحرج في الأمر أن حجمه أصغر من حجم أكبر ستة أقمار في المجموعة الشمسية. وكما حدث مع الكويكبات، وجد الفلكيون لاحقًا عدة مئات من الأجرام الأخرى في مواضع مشابهة، لكن في هذه الحالة في النطاق الخارجي للمجموعة الشمسية في مدارات شبيهة بمدار بلوتو. أشارت هذه الأجرام إلى وجود مخزون غير مسجل من الأجرام الصغيرة الجليدية، التي نسميها الآن حزام كويبر للمذنبات. وقد يحاجُّ أحد المتشددين بالقول إن سيريس وبالاس وبلوتو انسلُّوا خلسة إلى الجدول الدوري بفضل مظهرهم الخدَّاع.

شأن نواة اليورانيوم، فإن نواة البلوتونيوم نواة مشعة أيضًا. وقد شكلت أنوية هذا العنصر المكون النشط في القنبلة الذرية التي ألقيت على مدينة ناجازاكي اليابانية، بعد ثلاثة أيام من قصف هيروشيما، واضعة بذلك نهاية سريعة للحرب العالمية الثانية. يستطيع العلماء استخدام كميات صغيرة من البلوتونيوم، الذي ينتج الطاقة بمعدل معتدل ثابت، لتزويد مولدات النظائر المشعة الكهربية الحرارية بالطاقة في سفن الفضاء المسافرة لتخوم المجموعة الشمسية، حيث لا يفيد ضوء الشمس ألواح الطاقة الشمسية. إن رطلًا واحدًا من البلوتونيوم يولد ما مقداره ١٠ ملايين كيلووات/ساعة من الطاقة

الحرارية، وهو ما يكفي لتشغيل المصباح الكهربي المنزلي لأحد عشر ألف سنة، أو لتزويد الفرد بالطاقة لفترة مماثلة. لا تزال سفينتا الفضاء فوياجر، اللتان أُطلقتا عام ١٩٧٧، تعتمدان على مخزونهما من البلوتونيوم في إرسال الرسائل إلى كوكب الأرض، حتى بعد تجاوزهما مدار بلوتو بمسافة بعيدة. إحدى السفينتين، التي تبعد عن الشمس الآن مائة ضعف المسافة التي تبعدها الأرض، بدأت في الدخول في الفضاء النجمي الحقيقي بمغادرة الفقاعة التي يخلقها تدفق الجسيمات المشحونة الآتية من الشمس.

هكذا نختم رحلتنا الكونية في أرجاء الجدول الدوري للعناصر الكيميائية، على حافة مجموعتنا الشمسية مباشرة. ولأسباب غير معروفة بعد، لا يحب أغلب الناس المواد الكيميائية، وهو ما يفسر الحملة المتواصلة لتخليص الطعام منها. ربما تبدو العناصر الكيميائية ذات الأسماء مفرطة الطول خطيرة. لكن في هذه الحالة ينبغي علينا لوم الكيميائيين أنفسهم، لا المواد الكيميائية. بصفة شخصية نشعر نحن — مؤلفي الكتاب — براحة تامة نحو المواد الكيميائية؛ فنجومنا المفضلة، إضافة إلى أفضل أصدقائنا، يتألَّفون منها.

الجزء الرابع

أصل الكواكب

الفصل الحادي عشر

حين كانت العوالم صغيرة

في غمرة محاولاتنا لاستجلاء تاريخ الكون اكتشفنا باستمرار أن القطاعات الأكثر غموضًا هي تلك المتعلقة بالبدايات؛ بداية الكون نفسه، وبداية البُنى الكبيرة (المجرات والعناقيد المجرية)، وبداية النجوم التي توفر أغلب الضوء الموجود في الكون. وكل قصة من قصص البدايات هذه تلعب دورًا محوريًّا، ليس فقط في تفسير كيف أنتج كون يبدو خاليًا من الملامح المميزة مجموعات معقدة من أنواع مختلفة من الأجرام، بل أيضًا في تحديد كيف ولماذا نجد أنفسنا، بعد ١٤ مليار عام على الانفجار العظيم، نعيش على كوكب الأرض كي نتساءل: كيف حدث كل هذا؟

جزء كبير من سبب ظهور هذه الألغاز هو أنه أثناء «العصور المظلمة» الكونية، حين كانت المادة تشرع في تنظيم نفسها في وحدات مستقلة كالنجوم والمجرات، أنتج القدر الأكبر من المادة قدرًا قليلًا من الإشعاع الذي يمكن كشفه، أو لم يُنْتِج إشعاعًا على الإطلاق. لقد تركتنا العصور المظلمة بأقل فرص رصد المادة خلال المراحل المبكرة لتكونها، التي لم تُستكشف بالقدر الأمثل بعد. هذا بدوره يعني أن علينا الاعتماد، بقدر كبير غير باعث على الراحة، على نظرياتنا بشأن الكيفية التي تصرفت بها المادة، مع وجود نقاط قليلة نسبيًّا يمكننا فيها التحقق من هذه النظريات في ضوء بيانات قائمة على الرصد والمشاهدة.

وحين نتحول إلى بداية الكواكب تزداد الألغاز؛ فنحن لا نفتقر فقط إلى المشاهدات الخاصة بالمراحل المبكرة الحاسمة في عملية تكون الكواكب، بل أيضًا إلى أي نظريات ناجحة عن الكيفية التي بدأت بها الكواكب في التكون. واحتفاءً بالإيجابيات نذكر أن السؤال: «كيف تكونت الكواكب؟» شهد اهتمامًا واسعًا في الأعوام الأخيرة. وطوال الجزء الأكبر من القرن العشرين ركز هذا السؤال على كواكب المجموعة الشمسية. لكن خلال

العقود الماضية، مع اكتشاف أكثر من مائة كوكب «خارج» المجموعة الشمسية تدور حول نجوم قريبة نسبيًّا، حصل الفيزيائيون الفلكيون على قدر أكبر من البيانات يمكنهم بواسطتها أن يستنتجوا التاريخ المبكر للكواكب، وعلى الأخص أن يحددوا كيف تكونت هذه الأجرام الصغيرة المظلمة الكثيفة إلى جانب النجوم التي تمدها بالضوء والحياة.

قد يملك الفيزيائيون الفلكيون المزيد من البيانات الآن، لكنهم لا يملكون إجابات أفضل عما مضى. بل في الحقيقة تسبب اكتشاف الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية، التي يدور أغلبها في مدارات تختلف عن مدارات كواكب المجموعة الشمسية، في إضفاء الحيرة على الموضوع بطرق عدة، وهو ما يترك قصة تكون الكواكب بعيدة عن الاكتمال. وبتلخيص مبسط يمكننا القول إنه لا يوجد تفسير جيد للكيفية التي بدأت الكواكب بها في بناء أنفسها من الغازات والغبار، حتى وإن كان بمقدورنا تصور كيف سارت عملية التكون نفسها، فور تخطي نقطة البدء، بحيث كونت أجرامًا كبيرة من أخرى صغيرة، وكيف فعلت هذا في غضون فترة وجيزة من الزمن.

تمثل بداية عملية تكون الكواكب مشكلة عويصة للغاية، حتى إن أحد خبراء العالم عن هذا الموضوع، سكوت تريماين من جامعة برينستون، قدَّم لنا (على سبيل المزاح) قوانين تريماين لتكون الكواكب. القانون الأول ينص على أن «كل النظريات والتنبؤات عن خصائص الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية خاطئة»، بينما ينص القانون الثاني على أن «التنبؤ الأكثر تأكيدًا بشأن عملية تكون الكواكب هو أنها يستحيل أن تحدث من الأساس». يؤكد مزاح تريماين على الحقيقة التي يستحيل تجنُّبها القائلة إن الكواكب موجودة بالفعل، بالرغم من عجزنا عن تفسير هذا اللغز الكوني.

منذ ما يربو على القرنين قدم إيمانويل كانط، في محاولة منه لتفسير عملية تكون الشمس وكواكبها، «فرضية السديم»، التي وفقًا لها تكثفت كتلة دوامية من الغازات والغبار تحيط بالشمس وهي في طور التكون إلى كتل صارت لاحقًا كواكب. تظل فرضية كانط، في شكلها العام، أساس المقاربات الفلكية الحديثة لعملية تكون الكواكب، خاصة وأنها انتصرت على المفهوم المبهم الذي ساد إبان النصف الأول من القرن العشرين القائل إن كواكب المجموعة الشمسية نتجت عن مرور نجم آخر بالقرب من الشمس. في هذا السيناريو يُفترض أن قوى الجاذبية بين النجمين جذبت كتلًا من الغازات من النجمين، ثم بردت هذه الغازات وتكثفت لتكون الكواكب. لهذه الفرضية، التي صاغها وروَّج لها

الفيزيائي الفلكي البريطاني جيمس جينز، عَيْبٌ (وعنصر جذب للمؤمنين بها) يتمثل في أن هذه النظرية تجعل عملية تكون مجموعات الكواكب نادرة الحدوث؛ لأن المقابلات القريبة بين النجوم لا تقع سوى مرات معدودة خلال عمر المجرة بأسرها. وفور أن توصل الفلكيون حسابيًّا إلى أن كل الغازات المنجذبة من النجم بهذه الصورة ستتبخر بدلًا من التكثف، هجروا فرضية جينز وعادوا إلى فرضية كانط، التي تعني ضمنًا أن كثيرًا من النجوم، إن لم يكن أغلبها، تدور حوله كواكب.

يملك الفيزيائيون الفلكيون الآن أدلة وافية على أن النجوم تتكون، ليس بالواحدة بل بالآلاف وعشرات الآلاف، داخل سحب الغازات والغبار العملاقة التي قد يتولد عن الواحدة منها في النهاية نحو مليون نجم منفرد. إحدى هذه الحاضنات النجمية أنتجت لنا سديم الجبار، أقرب مناطق تكون النجوم لمجموعتنا الشمسية. وفي غضون ملايين قليلة من الأعوام ستنتج هذه المنطقة مئات الآلاف من النجوم الجديدة، التي ستنفث غالبية الجزء المتبقي من غازات وغبار السديم إلى الفضاء، وبهذا سيرصد الفلكيون بعد مئات الآلاف من الأجيال النجوم الفتية المتحررة من بقايا شرانقها النجمية التي ولدت بها.

يستخدم الفيزيائيون الفلكيون اليوم تلسكوبات موجات الراديو لرسم توزيعات الغازات والغبار البارد في المناطق المتاخمة للنجوم الشابة. وتبين خرائطهم عادة أن النجوم الشابة لا تبحر في أرجاء الفضاء الخاوي من أي مادة محيطة، بل عادة ما تكون محاطة بأقراص دوارة من المادة، مقاربة في الحجم للمجموعة الشمسية، لكنها مؤلفة من غاز الهيدروجين الذي تتخلله جسيمات الغبار (وغازات أخرى بكميات أقل). يصف مصطلح «الغبار» مجموعات من الجسيمات يحتوي الواحد منها على عدة ملايين من الذرات وحجمها أقل بكثير من النقطة التي تنتهي بها هذه العبارة. كثير من حبيبات الغبار هذه تتكون بالأساس من ذرات كربون، مرتبطة بعضها ببعض لتؤلف الكربون الطري أو الجرافيت (وهو المكون الأساسي للرصاص الموجود في الأقلام الرصاص). والحبيبات الأخرى مزيج من ذرات السليكون والأكسجين؛ أي إنها في جوهرها صخور ضئيلة الحجم، لها غطاء من الثلج يغلِّف قلوبها الحجرية.

تَكَوُّن جسيمات الغبار هذه داخل الفضاء النجمي له ألغازه ونظرياته المفصلة، التي يمكننا التجاوز عنها والاكتفاء بالقول إن الكون مليء بالغبار وحسب. لتكوين هذا الغبار لا بد أن تتجمع الذرات معًا بالملايين، وفي ضوء الكثافات المنخفضة للغاية للمادة

بين النجوم، يكون أكثر مكان من المرجح وقوع هذه العملية فيه هي الأغلفة الجوية الممتدة للنجوم الباردة، التي تنفث المادة برفق إلى الفضاء.

يعد إنتاج جسيمات الغبار النجمي الخطوة الأولى الجوهرية على طريق تكون الكواكب. وهذا لا ينطبق وحسب على الكواكب الصلبة على غرار كوكبنا، بل أيضًا على الكواكب الغازية العملاقة، التي يجسدها في مجموعتنا الشمسية كوكبا المشتري وزحل. فمع أن هذين الكوكبين يتألَّفان بالأساس من الهيدروجين والهيليوم، فقد خلص الفيزيائيون الفلكيون من حساباتهم للبنية الداخلية للكوكبين، إلى جانب قياساتهم لكتلة الكوكبين، إلى أن للكواكب الغازية قلوبًا صلبة. فمن إجمالي كتلة كوكب المشتري، البالغة ٣١٨ مرة قدر كتلة الأرض، يكمن ما يقدر بعدة عشرات قدر كتلة الأرض في قلب صلب. أما زحل، البالغة كتلته ٩٥ مرة قدر كتلة الأرض، فله أيضًا قلب صلب يبلغ من عشر إلى عشرين مرة قدر كتلة الأرض. وبالمثل، للكوكبين الغازيين العملاقين الأصغر، أورانوس ونبتون، قلبان صلبان أكبر نسبيًّا. ففي هذين الكوكبين، البالغة كتلتهما خمس عشرة وسبع عشرة مرة قدر كتلة الأرض على الترتيب، يحتوي القلب الصلب على أكثر من نصف الكتلة الإجمالية للكوكب.

في هذه الكواكب الأربعة كلها، وفي كل الكواكب العملاقة المكتشفة حول النجوم الأخرى على الأرجح، لعبت القلوب الصلبة دورًا محوريًّا في عملية التكون؛ ففي البداية تكوَّن القلب، ثم جاءت الغازات، التي اجتذبها القلب الصلب. وبهذا تتطلب عملية تكوين الكواكب بشتى أنواعها تكون كتلة كبيرة من المادة الصلبة أولًا. من بين كواكب المجموعة الشمسية يملك المشتري أكبر هذه القلوب، يليه زحل، ثم نبتون فأورانوس، ويحل كوكب الأرض خامسًا، وهو الموقع نفسه الذي يحتله من حيث الحجم الإجمالي. يطرح تاريخ تكون الكواكب سؤالًا جوهريًّا: كيف تجبر الطبيعة الغبار على التجمع لتكوين كتل من المادة يبلغ قطرها عدة آلاف من الأميال؟

للإجابة شقان؛ أحدهما معروف والآخر غير معروف. ومن غير المثير للدهشة أن الجزء غير المعروف هو الأقرب لأصل عملية التكون. ففور أن تتكون لديك أجسام يبلغ عرض الواحد منها نصف الميل، ويسميها الفلكيون بالكواكب المصغرة، سيتمتع كل واحد منها بجاذبية قوية بما يكفيه لاجتذاب أجسام أخرى بنجاح. ستبني قوى الجاذبية المتبادلة بين هذه الكواكب المصغرة قلوب النجوم، ثم الكواكب نفسها بسرعة،

حتى إنه في غضون ملايين قليلة من الأعوام ستتحول مجموعة الكتل المنفصلة، الواحدة منها في حجم البلدة الصغيرة، إلى عوالم كاملة، جاهزة إما لاكتساب طبقة رقيقة من غازات الغلاف الجوي (كما في حالة الزهرة والأرض والمريخ) أو طبقة سميكة للغاية من الهيدروجين والهيليوم (كما هو الحال في الكواكب الأربعة العملاقة التي تدور حول الشمس في مدارات بعيدة بما يكفي لكي تراكم كميات ضخمة من هذين الغازين الخفيفين). بالنسبة للفيزيائيين الفلكيين يُختزل الانتقال من الكواكب المصغرة التي لا يتجاوز عرضها نصف الميل إلى الكواكب الكاملة في سلسلة من النماذج الحاسوبية المفهومة جيدًا، التي تنتج لنا تشكيلة واسعة من التفاصيل الخاصة بالكواكب، لكن في أغلب الأحوال تكون الكواكب الداخلية صغيرة صخرية كثيفة، بينما الكواكب الخارجية أكبر حجمًا وغازية (باستثناء قلوبها) ومخلخلة. وخلال هذه العملية يُطاح بالعديد من الكواكب المصغرة، إضافة إلى بعض الأجسام الكبيرة التي تصنعها، خارج المجموعة الشمسية بالكامل بفعل تفاعلات الجاذبية مع الأجسام الأكبر حجمًا.

كل هذا يعمل بشكل طيب على الحاسب الآلي، لكن بناء الكواكب المصغرة البالغ قطر الواحد منها نصف الميل في المقام الأول لا يزال خارج نطاق قدرات الفيزيائيين الفلكيين الحالي على دمج معارفهم عن الفيزياء مع برامجهم الحاسوبية. ليس بمقدور الجاذبية أن تكوِّن الكواكب المصغرة؛ لأن قوى الجاذبية المتواضعة بين الأجسام الصغيرة لن تكفي للربط بينها بفعالية. ثمة احتمالان نظريان لتفسير تكون الكواكب المصغرة من الغبار، وليس أي منهما مقنعًا بما يكفي. يفترض أحد النموذجين تكون الكواكب المصغرة من خلال عملية التراكم، التي تحدث حينما تصطدم جسيمات الغبار ثم يلتصق بعضها ببعض. يعمل هذا المبدأ بشكل طيب من الناحية النظرية؛ لأن أغلب جسيمات الغبار يلتصق بالفعل بعضها ببعض حين تتقابل. وهذا يفسر وجود كتل الغبار المتراكمة تحت أريكتك، وإذا أمكنك تخيل كرات غبار عملاقة وهي تنمو حول الشمس، فستستطيع، بقليل من الجهد العقلي، أن تسمح لها بالنمو إلى حجم الكرسي، أو المنزل، أو الحي السكني، وسريعًا ما ستصل إلى حجم الكواكب المصغرة، حيث تكون جاهزة لممارسة قوى الجاذبية الخاصة بها.

لكن للأسف، على عكس تكوُّن كرات الغبار الفعلية، يبدو أن نمو الكواكب المصغرة بالكيفية نفسها التي تنمو بها كرات الغبار يتطلب وقتًا طويلًا. ويكشف تحديد عمر الأنوية غير المستقرة المكتشفة في أقدم النيازك إشعاعيًّا أن تكوُّن المجموعة الشمسية

احتاج ما لا يزيد عن عشرات قليلة من ملايين الأعوام، بل ربما أقل من هذا بكثير. وبالمقارنة بالعمر الحالي للكواكب، والبالغ ٤٫٥٥ مليارات عام، لا تساوي هذه الفترة سوى قطرة في بحر، حوالي ١ بالمائة من النطاق الإجمالي لوجود المجموعة الشمسية. تتطلب عملية التراكم وقتًا أكثر بكثير من مجرد عشرات معدودة من ملايين الأعوام كي تكون الكواكب المصغرة من الغبار؛ لذا ما لم يغفل الفيزيائيون الفلكيون عن شيء مهم في فهم الكيفية التي يتراكم بها الغبار في بُنى أكبر، فسنكون بحاجة لآلية أخرى للتغلب على عائق الوقت في عملية تكون الكواكب المصغرة.

الآلية الأخرى قد تتكون من دوَّامات عملاقة تكسح جسيمات الغبار بالتريليونات، دافعة إياها نحو التجمع بعضها مع بعض في أجسام أكبر. ولأن سحابة الغاز والغبار المنكمشة التي تحولت إلى الشمس وكواكبها يبدو أنها اكتسبت قدرًا من الدوران، سرعان ما تغير شكلها الإجمالي من الشكل الكروي إلى المسطح، تاركًا الشمس التي لا تزال في طور التكون على صورة كرة منكمشة أكثر كثافة نسبيًّا في المركز، محاطة بقرص مسطح للغاية من المادة التي تدور حول هذه الكرة. وإلى يومنا هذا لا تزال مدارات الكواكب، التي تسير في الاتجاه ذاته وتشغل المستوى ذاته تقريبًا، تشهد على توزيع المادة الشبيه بالقرص الذي بنى الكواكب المصغرة ومن ثم الكواكب. داخل مثل هذا القرص الدوَّار يتصور الفيزيائيون الفلكيون ظهور بعض «الاضطرابات»؛ مناطق تتفاوت كثافاتها بدرجة كبيرة. المناطق الأعلى كثافة في هذه الاضطرابات تجمِّع المادة الغازية والغبار الذي يطفو داخل الغازات. وفي غضون آلاف قليلة من الأعوام تصير مناطق الاضطراب هذه دوامات ملتفَّة قادرة على كسح كميات كبيرة من الغبار للتراكم في أحجام صغيرة.

يبدو نموذج الدوامة لتكون الكواكب هذا واعدًا، مع أنه لم يأسر بعدُ قلوب مَنْ يسعون لتفسير كيف أنتجت المجموعة الشمسية ما تحتاجه الكواكب. وبمزيد من التفصيل يقدم النموذج تفسيرات أفضل لقلوب كواكب مثل المشتري وزحل، أكثر مما يفعل مع أورانوس ونبتون. ولأن علماء الفلك لا يملكون سبيلًا لإثبات أن الاضطرابات التي يقوم عليها هذا النموذج وقعت بالفعل، علينا أن نمتنع عن الحكم على الأمر في الوقت الحالي. إن وجود ذلك العدد المهول من الكويكبات الصغيرة والمذنبات، التي تشبه الكواكب المصغرة في حجمها الصغير وتركيبتها، يدعم المفهوم القائل إنه منذ مليارات الأعوام كونت ملايين الكواكب المصغرة الكواكب؛ لذا فلنستقر في الوقت الحالي على أن عملية تكون الكواكب المصغرة هي ظاهرة مؤكدة — وإن كانت غير مفهومة بعدُ —

تسد الفجوة الموجودة في معارفنا، وتتركنا للإعجاب بما يحدث حين تتصادم الكواكب المصغرة.

في هذا السيناريو يمكننا بسهولة أن نتصور أنه فور تكوين الغازات والغبار المحيط بالشمس لتريليونات قليلة من الكواكب المصغرة، بدأ حشد الأجسام هذا في التصادم مكونًا أجسامًا أكبر، وفي النهاية أنتج الكواكب الأربعة الداخلية للشمس إضافة إلى قلوب الكواكب الأربعة العملاقة الأخرى. علينا أيضًا ألا نغض الطرف عن أقمار الكواكب، وهي الأجسام الأصغر التي تدور حول جميع كواكب الشمس، باستثناء أقرب كوكبين لها؛ عطارد والزهرة. أكبر هذه الأقمار، ذات الأقطار التي تصل إلى آلاف قليلة من الأميال، تبدو متوافقة بشكل طيب مع النموذج المقترح؛ إذ يُفترض أنها تكونت هي الأخرى من تصادمات الكواكب المصغرة. وقد توقفت عملية بناء الأقمار فور وصول الأقمار إلى أحجامها الحالية، ولا شك أن سبب هذا (كما يحق لنا أن نفترض) هو استحواذ الكواكب القريبة، بجاذبيتها القوية، على غالبية الكواكب المصغرة القريبة. علينا أن ندخل في هذه الصورة عشرات الآلاف من الكويكبات التي تدور بين المريخ والمشتري. أكبر هذه الكويكبات، البالغة أقطارها مئات قليلة من الأميال، يُفترض أنها تكوَّنت من تصادمات الكواكب المصغرة، ثم وجدت نفسها عاجزة عن النمو أكثر من هذا بسبب تأثير الجاذبية الصادر عن كوكب المشتري العملاق القريب. أما أصغر الكويكبات، التي يقل عرضها عن الميل، فقد تمثل الكواكب المصغرة الأصلية؛ تلك الأجسام التي نمت من الغبار لكنها لم يصطدم بعضها ببعض — مرة أخرى بفضل تأثير كوكب المشتري — بعد وصولها إلى الحجم المناسب للتأثر بالجاذبية.

يبدو هذا السيناريو ناجحًا مع الأقمار التي تدور حول الكواكب. للكواكب الأربعة الكبرى عائلات من الأقمار تتراوح من الحجم الكبير أو الكبير للغاية (ما يصل إلى حجم كوكب عطارد) وصولًا إلى الحجم الصغير للغاية. أصغر هذه الأقمار، التي يقل عرضها عن الميل، قد تكون مجرد كواكب مصغرة أصلية، حُرمت من أي تصادمات قد تزيد من حجمها بسبب وجود الأجسام القريبة التي نمت بالفعل لحجم أكبر. في كل واحدة من عائلات الأقمار هذه نجد أن الأقمار الكبيرة تدور حول كواكبها في الاتجاه عينه، وعلى المستوى نفسه تقريبًا. وليس بوسعنا سوى أن نعزو هذه النتيجة للسبب عينه الذي جعل الكواكب تدور في الاتجاه نفسه وعلى المستوى نفسه تقريبًا؛ فحول كل كوكب

أنتجت سحابة دوارة من الغاز والغبار كتلًا من المادة، نمت لتكون كواكب مصغرة، ومن ثم أقمارًا.

أما في الكواكب الداخلية للمجموعة الشمسية، فالأرض وحدها لها قمر كبير إلى حدٍّ ما. وليس لكوكبي عطارد والزهرة أقمار، بينما للمريخ قمران يشبهان شكل ثمرة البطاطس، ويدعيان فوبوس وديموس، وكل منهما لا يزيد عرضه على أميال قليلة، ومن ثم هما يمثلان المراحل المبكرة لتكون الأجرام الكبرى من الكواكب المصغرة. تعزو بعض النظريات أصل هذين القمرين إلى حزام الكويكبات، وأن هذين الكويكبين السابقين تحوَّلا إلى مداريهما الحاليين حول المريخ نتيجة لنجاح جاذبية المريخ في اقتناصهما.

وماذا عن قمرنا، الذي يزيد قطره عن ألفي ميل، ولا يفوقه حجمًا سوى الأقمار تايتان وجانيميد وترايتون وكاليستو (ويبلغ نفس حجم القمرين أيو ويوروبا) من بين أقمار المجموعة الشمسية كافة؟ هل نما القمر أيضًا من تصادمات الكواكب المصغرة، مثلما حدث مع الكواكب الأربعة الداخلية؟

بدا هذا افتراضًا معقولًا إلى أن جاء البشر بالصخور القمرية إلى الأرض كي تُفحص بشكل مفصل. فمنذ أكثر من ثلاثة عقود توصَّلنا من خلال التحليل الكيميائي لعينات الصخور التي جاءت بها رحلات أبوللو إلى نتيجتين، وكلتاهما تدعمان احتمالين متعارضين بشأن أصل القمر؛ فمن ناحية، يشبه تركيب هذه الصخور القمرية تركيب الصخور الأرضية إلى حدٍّ بعيد، حتى إن فرضية تكون القمر بشكل منفصل تمامًا عن الأرض لم تعد قائمة. لكن من ناحية أخرى، يختلف تركيب القمر عن الأرض بشكل يكفي لإثبات أن القمر لم يتكون بالكامل من مادة أرضية فقط. لكن إذا لم يكن القمر قد تكون بعيدًا عن الأرض، ولم يتكون من الأرض، فكيف تكوَّن؟

تعتمد الإجابة الشائعة حاليًّا عن هذه المعضلة — مع أنها قد تبدو مستغربة من الظاهر — على فرضية شاعت قديمًا مفادها أن القمر تكون نتيجة اصطدام هائل، وقع في بداية تاريخ المجموعة الشمسية، تسبب في جرف جزء من مادة حوض المحيط الهادي والإطاحة به في الفضاء، حيث تجمعت لتكون القمر الذي يدور حول الأرض. وفق النظرة الجديدة، التي تحظى بالفعل بقبول واسع بوصفها أفضل التفسيرات المتاحة، تكوَّن القمر بالفعل نتيجة اصطدام جسم ضخم بالأرض، لكن الجسم المصطدم بالأرض كان من الكبر بما يكفي — ما يقارب حجم المريخ — بحيث أضاف بشكل طبيعي بعضًا من مادته إلى المادة المقذوفة خارج الأرض. الجزء الأكبر من المادة المقذوفة في الفضاء بفعل

قوة هذا الاصطدام ربما يكون قد اختفى من المناطق القريبة منا، لكن جزءًا كافيًا منه تخلَّف وتجمع على بعضه ليكون قمرنا المعروف، والمكون من مادة أرضية وأخرى من خارج الأرض. كل هذا حدث منذ حوالي ٤٫٥ مليارات عام، خلال المائة مليون عام التي أعقبت بدء عملية تكون الكواكب.

إذا اصطدم جسم بحجم كوكب المريخ بالأرض في الأزمنة الغابرة، فأين هو الآن؟ من غير المرجح أن يتسبَّب الاصطدام في تفتت الجسم إلى قطع صغيرة بحيث نعجز عن رصدها؛ فأقوى تلسكوباتنا قادرة على أن تجد في الجزء الداخلي من المجموعة الشمسية الأجسام الصغيرة المقاربة لحجم الكواكب المصغرة التي تكوَّنت منها الكواكب. تأخذنا إجابة هذا الاعتراض إلى صورة جديدة للمجموعة الشمسية المبكرة، صورة تؤكد على طبيعتها العنيفة المتصادمة. إن نجاح الكواكب المصغرة في بناء جسم في حجم كوكب المريخ لا يضمن أن هذا الجسم سيستمر لفترة طويلة. فهذا الجسم لم يصطدم بالأرض وحسب، بل إن القطع الكبيرة المتخلفة عن هذا الاصطدام واصلت اصطدامها بالأرض وغيرها من الكواكب الداخلية، وبعضها ببعض، وبالقمر نفسه (فور تكونه). بعبارة أخرى، شاعت أجواء من التصادمات المرعبة النطاق الداخلي من المجموعة الشمسية على امتداد الملايين الأولى من عمرها، وصارت أجزاء الأجسام العملاقة التي اصطدمت بالكواكب والتي كانت في طور التكون جزءًا من هذه الكواكب نفسها. إن اصطدام جسم بحجم المريخ بالأرض كان من أكبر التصادمات المتوالية، في حقبة من الدمار جعلت الكواكب المصغرة وغيرها من الأجسام الأكبر ترتطم بالأرض وجيرانها.

بالنظر إلى هذا القصف القاتل من منظور مختلف سنجد أنه كان إشارة إلى المراحل الأخيرة من عملية التكون. وقد بلغت هذه العملية ذروتها في مجموعتنا الشمسية التي نراها اليوم، والتي لم تتغير إلا قليلًا طوال ٤ مليارات عام وأكثر؛ نجم عادي واحد، تدور حوله ثمانية كواكب (إضافة إلى بلوتو، الأشبه بالمذنب العملاق الجليدي منه بالكوكب)، ومئات الآلاف من الكويكبات، وتريليونات الشهب (شظايا أصغر تضرب الأرض بالآلاف يوميًّا)، وتريليونات المذنبات، كرات ثلجية قذرة تكونت على بعد عشرات أضعاف المسافة التي تبعدها الأرض عن الشمس. وعلينا ألا ننسى أقمار الكواكب التي تحركت، باستثناءات قليلة، في مدارات ثابتة على المدى البعيد منذ مولدها منذ ٤٫٦ مليارات عام. ولنلقِ نظرة أقرب على الحطام المستمر في الدوران حول الشمس، والقادر على جلب الحياة أو محوها من عوالم مثل عالمنا.

الفصل الثاني عشر

بين الكواكب

من بعيد تبدو المجموعة الشمسية خاوية. فإذا أحطتها بكرة ضخمة بما يكفي لتحتوي مدار كوكب نبتون، فستشغل الشمس، إضافة إلى جميع كواكبها وأقمارها، أكثر بقليل من واحد على التريليون من إجمالي فضاء تلك الكرة. هذه النتيجة تفترض أن الفضاء الموجود بين الكواكب خاوٍ بالأساس. لكن عند النظر عن كثب يتَّضح أن هذا الفضاء يحوي جميع أنواع الصخور المحطمة والحصى وكرات الثلج والغبار وتيارات الجسيمات المشحونة والمسبارات البعيدة التي صنعها البشر. ويتغلغل في هذا الفضاء الكوكبي مجالات جاذبية ومغناطيسية قوية قادرة — مع كونها غير مرئية — على التأثير على الأجسام القريبة. هذه الأجسام الصغيرة ومجالات القوى الكونية تمثل تهديدًا مستمرًّا لكل من يحاول الانتقال من مكان لآخر داخل المجموعة الشمسية. وأكبر هذه الأجسام تمثل هي الأخرى خطرًا على الحياة على الأرض إذا حدث واصطدمت بكوكبنا بسرعات تبلغ عدة أميال في الثانية الواحدة، وهو ما يحدث بالفعل في أحوال نادرة.

الفضاء المحيط بالأرض ليس خاويًا، حتى إن كوكبنا، خلال رحلته حول الشمس بسرعة ٣٠ كيلومترًا في الثانية، يشق طريقه وسط مئات الأطنان من الحطام الكوكبي كل يوم، وأغلبه لا يزيد في الحجم عن حبة الرمال. كل هذه المادة تقريبًا تحترق في الطبقة العليا للغلاف الجوي للأرض، حيث ترتطم بالهواء بطاقة عالية حتى إن هذه الجسيمات الواردة تتبخر. وقد تطور نوعنا الضعيف تحت هذه الطبقة الواقية من الهواء. وبالنسبة لقطع الحطام الأكبر، في حجم كرات الجولف، فهي تسخن بسرعة، لكن على نحو غير متساوٍ، وكثيرًا ما تتهشم إلى قطع أصغر قبل أن تتبخر هي الأخرى. أما القطع الأكبر فيحترق سطحها، لكنها تواصل شق طريقها، ولو بشكل جزئي، وصولًا إلى الأرض. قد تظن أنه بحلول وقتنا الحالي، بعد ٤٫٦ مليارات رحلة حول الشمس، «التهمت» الأرض

كل قطع الحطام الموجودة في مسارها. لقد حققنا بالفعل تقدمًا في هذا الاتجاه؛ فالأحوال كانت أسوأ بكثير في الماضي. فخلال النصف مليار عام الأول بعد تكون الشمس وكواكبها انهمر الحطام على كوكب الأرض، حتى إن طاقة الاصطدام ولدت غلافًا جويًّا ساخنًا للغاية وجعلت سطح الكوكب جدبًا.

وعلى وجه التحديد أدت قطعة واحدة كبيرة من الحطام الفضائي إلى تكون القمر. إن الندرة غير المتوقعة للحديد وغيره من العناصر ذات الكتلة المرتفعة في القمر، التي استنتجناها من عينات التربة القمرية التي جاء بها رواد رحلات أبوللو إلى الأرض، تشير إلى أن القمر يتكون على الأرجح من المادة التي قذفتها طبقتا القشرة والدثار، اللتان يشح بهما الحديد، في أعقاب اصطدام خاطف بكوكب مصغر صلب في حجم المريخ. تجمع بعض الحطام الناجم عن هذا الاصطدام كي يكون قمرنا الجميل منخفض الكثافة. وفضلًا عن هذا الحدث المهم الذي وقع منذ نحو ٤٫٥ مليارات عام، كانت فترة القصف الثقيل التي عانتها الأرض خلال فترة طفولتها مشابهة لما مرت به بقية الكواكب وغيرها من الأجرام الكبيرة في المجموعة الشمسية. وقد أحدث كل منها ضررًا مشابهًا، ولا يزال القمر وكوكب عطارد يحملان أكبر عدد من الفوهات التي تسببت فيها أحداث تلك الفترة.

إضافة إلى الحطام المتخلف عن فترة تكون الفضاء الكوكبي، يحتوي هذا الفضاء الكوكبي أيضًا على صخور من جميع الأحجام أتت من المريخ والقمر، والأرض على الأرجح، بينما كانت أسطحها تترنح بفعل التصادمات العاتية. وتؤكد الدراسات الحاسوبية لضربات النيازك بشكل حاسم أن بعض صخور السطح بالقرب من منطقة الارتطام ستندفع نحو الفضاء بسرعة تكفيها للإفلات من مجال جاذبية الجسم. ومن اكتشافات النيازك المريخية الموجودة على الأرض يمكننا أن نخلص إلى أن حوالي ألف طن من صخور المريخ تنهمر على الأرض كل عام. ومن المرجح أن تصل كمية مساوية من الحطام لسطح الأرض قادمة من القمر. لم نكن بحاجة إذن للذهاب إلى القمر للحصول على الصخور القمرية؛ فقد وصلت عشرات قليلة منها إلى كوكبنا، مع أنها ليست من اختيارنا، لكننا لم نعرف هذه الحقيقة خلال برنامج الفضاء أبوللو.

لو أن المريخ قد احتوى على حياة في السابق — وهو المرجح أنه منذ مليارات مضت من الأعوام حين كان الماء السائل يتدفق بحرية على سطح المريخ — لكانت البكتيريا الغافلة، التي تسكن أركان — وبصفة خاصة شقوق — الصخور المنطلقة من المريخ، ستتمكن من السفر إلى الأرض مجانًا. نحن نعلم بالفعل أن بعض أنواع البكتيريا يمكنها

البقاء مدة طويلة في حالة سبات، كما يمكنها تحمل جرعات عالية من الإشعاع الشمسي المؤين الذي ستتعرض له في طريقها إلى الأرض. إن وجود البكتيريا المنتقلة عبر الفضاء ليس بالفكرة المجنونة أو الخيال العلمي المحض. بل إن لهذا المفهوم اسمًا مهيبًا هو «التبذُّر الشامل». إذا احتضن المريخ الحياة قبل الأرض، وإذا سافرت أشكال الحياة البسيطة من المريخ على الصخور المقذوفة منه وخصبت الأرض، فهذا قد يعني أن أصلنا جميعًا يعود إلى المريخ. قد يبدو أن هذه الحقيقة تجنبنا المخاوف البيئية المتعلقة بتلويث رواد الفضاء لسطح المريخ بجراثيمهم. لكن في الواقع، حتى لو كان أصلنا جميعًا يعود إلى المريخ، فسنود بشدة أن نتتبع مسار الحياة من المريخ إلى الأرض، وبهذا فإن لهذه المخاوف أهمية كبرى.

أغلب كويكبات المجموعة الشمسية موجودة في «حزام الكويكبات الأساسي»، وهو منطقة مسطحة تحيط بالشمس تقع بين مداري المريخ والمشتري. وفق التقاليد يسمِّي مكتشفو الكويكبات ما يكتشفونه من كويكبات حسب أهوائهم. وللكويكبات الموجودة في حزام الكويكبات، الذي يصوره الفنانون عادة كمنطقة مزدحمة بالصخور الطافية في المجموعة الشمسية، مع أنه يمتد في الواقع لما يربو على مليارات الأميال على بُعد مسافات متباينة من الشمس، كتلة إجمالية أقل من ٥ بالمائة من كتلة القمر، التي تزيد هي نفسها بالكاد عن ١ بالمائة من كتلة الأرض. يبدو الرقم تافهًا في البداية، لكن سريعًا ما تمثل الكويكبات خطرًا كونيًّا طويل الأمد على كوكبنا. فالاضطرابات المتراكمة في مداراتها تؤدي، بشكل دوري، لوجود مجموعة فرعية قاتلة من الكويكبات، ربما يصل عددها إلى عدة آلاف، تحملها مداراتها الممتدة إلى مسافة قريبة من الشمس بحيث تتقاطع مع مدار الأرض، وهنا يصير احتمال التصادم قائمًا. وبحسبة سريعة سنكتشف أن أغلب هذه الكويكبات المارة بالأرض ستضرب الأرض في غضون بضع مئات الملايين من الأعوام. والأجسام التي يزيد حجمها عن الميل عرضًا تحمل طاقة كافية للإخلال باستقرار النظام البيئي على كوكب الأرض، وهو ما يعرِّض أغلب أنواع الكائنات الأرضية لخطر الانقراض. وهذا سيكون أمرًا سيئًا.

في الوقت ذاته ليست الكويكبات الأجسام الوحيدة التي تهدد الحياة على الأرض. كان الفلكي الهولندي يان أورت أول من أدرك أن في الأعماق الباردة للفضاء النجمي، أبعد عن الشمس من أي كوكب، توجد مجموعة من البقايا المتجمدة لمراحل التكون الأولية للمجموعة الشمسية التي لا تزال تدور حول الشمس. تمتد «سحابة أورت»، المكونة من

تريليونات المذنبات، حتى نصف المسافة إلى أقرب النجوم لمجموعتنا الشمسية؛ أي ما يفوق حجم المجموعة الشمسية نفسها بآلاف الأضعاف.

اقترح جيرارد كويبر، الفلكي الأمريكي الهولندي المعاصر لأورت، أن بعض هذه الأجسام المتجمدة شكلت من قبل جزءًا من قرص المادة الذي تكونت الكواكب منه، وأنها الآن تدور حول الشمس على مسافات أبعد بكثير من مدار نبتون، لكنها أقرب بكثير من المذنبات الموجودة في سحابة أورت. يطلق الفلكيون الآن على هذه المذنبات مجتمعة اسم حزام كويبر، وهي رقعة دائرية تتناثر بها المذنبات وتبدأ بعد مدار نبتون مباشرة، وتضم بلوتو داخلها، وتمتد مسافات تعادل أضعاف المسافة بين نبتون والشمس. أبعد الأجسام المعروفة في حزام كويبر، والمسمى سِدنا، على اسم ربة الإنويت، له قطر يبلغ ثلثي قطر بلوتو. ودون وجود أي كوكب قريب يخل بمداراتها ستظل أغلب مذنبات حزام كويبر في مداراتها الحالية مليارات الأعوام. وكما هو الحال في حزام الكويكبات، تتحرك مجموعة فرعية من أجسام حزام كويبر في مدارات غريبة تتقاطع مع مسارات الكواكب الأخرى. فمدار بلوتو، الذي يمكننا اعتباره مذنبًا كبيرًا للغاية، وكذلك مدارات مجموعة من أشقائه الصغار، التي يسمى الواحد منها بالبلوتينو، تتقاطع مع مدار نبتون حول الشمس. وهناك مذنبات أخرى من حزام كويبر، بفعل الاضطراب الحاصل في مداراتها الكبيرة، تندفع من حين لآخر نحو الكواكب الداخلية للمجموعة الشمسية، عابرة مدارات الكواكب بحرية. هذه المجموعة تضم المذنب هالي، أشهر المذنبات قاطبة.

سحابة أورت مسئولة عن المذنبات ذات الدورات الطويلة، التي تتجاوز فتراتها المدارية عمر الإنسان بكثير. وعلى العكس من مذنبات حزام كويبر، تستطيع مذنبات سحابة أورت الاندفاع نحو كواكب المجموعة الشمسية الداخلية بأي زاوية ومن أي اتجاه. جاء أكثر المذنبات سطوعًا على مر الثلاثة عقود الماضية وهو المذنب هايكوتاك (١٩٩٦) من سحابة أورت، من أعلى مستوى المجموعة الشمسية بكثير، ولن يعود إلى منطقتنا إلا بعد مرور وقت طويل.

لو تمكنَّا من رؤية المجالات المغناطيسية فسيبدو المشتري أكبر بعشر مرات من البدر في السماء. ولا بد أن تكون سفن الفضاء التي تزور المشتري مصممة بحيث لا تتأثر بهذا المجال المغناطيسي القوي. وكما اكتشف الكيميائي والفيزيائي الإنجليزي مايكل فاراداي في عام ١٨٣١، فإنك إذا حركت سلكًا وسط مجال مغناطيسي فستولِّد فارق جهد كهربائي على امتداد هذا السلك. ولهذا السبب تتولد داخل مسبارات الفضاء المعدنية

المتحركة بسرعة تيارات كهربية. هذه التيارات تتفاعل مع المجال المغناطيسي الموضعي بطريقة تعيق حركة المسبار. هذا التأثير قد يفسر لنا الإبطاء الغامض لمركبتي الفضاء بايونير عند خروجهما من المجموعة الشمسية. فمركبتا الفضاء بايونير ١٠ وبايونير ١١، اللتان أُطلقتا في السبعينيات، لم تقطعا الفضاء بنفس القدر الذي تنبأت به النماذج الديناميكية لحركتهما. وبعد الوضع في الحسبان مقدار تأثيرات الغبار الفضائي الذي قابلتاه في الطريق، إضافة إلى ارتدادهما بفعل خزانات الوقود المتناقصة، قد يقدم مفهوم التفاعل المغناطيسي هذا — في هذه الحالة المجال المغناطيسي للشمس — التفسير الأفضل لإبطاء مركبتي الفضاء بايونير.

أسفرت وسائل الكشف المحسنة ومسبارات الفضاء المحلقة عن قرب عن زيادة العدد المكتشف من أقمار الكواكب بسرعة كبيرة، حتى إن إحصاء عدد الأقمار صار عملًا لا قيمة له؛ إذ إن أعدادها تتزايد كل ثانية. المهم الآن هو معرفة ما إذا كان أي من هذه الأقمار به ما يستحق الزيارة أو الدراسة. بقدر ما، تعد أقمار كواكب المجموعة الشمسية أكثر إثارة للاهتمام بكثير من الكواكب نفسها؛ فقمرا المريخ، فوبوس وديموس، ظهرا (ليس باسميهما) في رواية جوناثان سويفت المعروفة رحلات جليفر (١٧٢٦). الغريب في الأمر أن هذين القمرين لم يُكتشفا إلا بعد هذا التاريخ بمائة عام. وما لم يكن سويفت يتمتع بقوى خارقة، فإن التفسير الوحيد لهذا هو أنه استنتج أن للمريخ قمرين من حقيقة أن للأرض قمرًا واحدًا وللمشتري أربعة (وهو العدد المعروف لأقمار المشتري وقتها).

يبلغ قطر القمر حوالي ١ / ٤٠٠ قطر الشمس، لكنه لا يبعد عنا إلا ب ١ / ٤٠٠ قدر بعد الشمس، وهو ما يجعل الشمس والقمر يبدوان في الحجم نفسه في السماء، وهي المصادفة التي لا توجد في أي كوكب وقمر آخر في المجموعة الشمسية، وهي تمنح سكان الأرض كسوفًا شمسيًّا جذابًا. ثبتت الأرض أيضًا فترة دوران القمر حول نفسه، بحيث صارت مساوية لفترة دورانه حول الأرض. سبب هذا هو جاذبية الأرض، التي تمارس قدرًا أكبر من القوة على الأجزاء الأعلى كثافة من القمر، ما يجعلها تواجه الأرض طوال الوقت. وكلما حدث هذا، كما هو الحال مع أقمار المشتري الأربعة الكبرى، استمر القمر الأسير في مواجهة كوكبه المضيف بوجه واحد فقط.

أثار نظام أقمار المشتري ذهول الفلكيين حين نظروا له عن كثب للمرة الأولى. فالقمر أيو، وهو أقرب أقمار المشتري الكبيرة من الكوكب، مدى حركته مقيَّد وبنيته مضغوطة

بفعل تفاعلات الجاذبية مع المشتري والأقمار الأخرى. هذه التفاعلات تضخُّ إلى القمر أيو (المقارب في الحجم لقمرنا) طاقة تكفي لإذابة بعض من أجزائه الداخلية الصخرية؛ ما يجعل أيو أكثر الأجرام نشاطًا بركانيًّا في المجموعة الشمسية. ثاني أكبر أقمار المشتري، يوروبا، يملك من الماء ما يكفي لأن تتسبب حرارته الداخلية، المولَّدة بفضل التفاعلات نفسها التي تؤثر على أيو، في إذابة الجليد الموجود تحت السطح، متسببة في وجود محيط سائل أسفل غطاء جليدي.

تكشف الصور المقربة لسطح القمر ميراندا، أحد أقمار كوكب أورانوس، عن أنماط غير متناسقة تمامًا، كما لو أن القمر المسكين قد انفجر، ثم تجمعت أشلاؤه مجددًا. لا تزال بداية هذه الملامح العجيبة غامضة، لكن قد يكون السبب شيئًا بسيطًا، مثل الارتفاعات غير المستوية للألواح الجليدية.

قمر بلوتو الوحيد، كارسون، كبير للغاية وقريب من بلوتو، حتى إن للاثنين التقيد المدي عينه؛ ففترة دوران كلا الجرمين حول أنفسهما تعادل فترة دورانهما حول مركز كتلتهما المشترك. بشكل تقليدي، يسمِّي الفلكيون أقمار الكواكب على اسم الشخصيات الإغريقية التي وجدت في حياة إله الإغريق الذي يحمل الكوكب اسمه، مع أنهم يستخدمون الاسم المناظر للإله لدى الرومان لتسمية الكوكب نفسه (ولهذا سُمي كوكب المشتري مثلًا بـ Jupiter وليس Zeus). ولأن الحياة الاجتماعية لآلهة القدماء كانت حياة معقدة، فليس هناك نقص في الأسماء التي نختار منها.

كان سير ويليام هيرشل أول من اكتشف كوكبًا آخر خلاف الكواكب التي تُرى بسهولة بالعين المجردة، وكان مستعدًّا لتسمية الكوكب الجديد على اسم الملك الذي سيدعم أبحاثه. ولو نجح سير ويليام هيرشل في مسعاه، لكانت أسماء الكواكب ستسير كالتالي: عطارد، الزهرة، الأرض، المريخ، المشتري، زحل، جورج. لكن لحسن الحظ ساد التفكير العقلاني، وبعد بضعة أعوام حمل الكوكب المكتشف حديثًا الاسم الكلاسيكي أورانوس. لكن الاقتراح الأصلي لهيرشل في تسمية أقمار الكواكب على اسم شخصيات في مسرحيات ويليام شكسبير وقصيدة ألكساندر بوب «سلب خصلة الشعر» لا يزال متبعًا إلى اليوم. ومن بين أقمار أورانوس السبعة عشر لدينا أرييل، كورديليا، ديدمونة، جولييت، أوفيليا، بورشيا، باك، وأمبريل، إضافة إلى القمرين الجديدين كاليبان وسيكوراكس، المُكتشفين حديثًا عام ١٩٩٧.

تفقد الشمس المادة من سطحها بمعدل ٢٠٠ مليون طن في الثانية الواحدة (وهو بالصدفة المعدل نفسه الذي يتدفق به الماء عبر حوض نهر الأمازون). تفقد الشمس هذه الطاقة على صورة «رياح شمسية»، تتكون من جسيمات مشحونة عالية الطاقة. هذه الجسيمات التي تتحرك بسرعة تصل إلى الألف ميل في الثانية تتغلغل في الفضاء بين الكواكب، حيث تصدها عادة المجالات المغناطيسية للكواكب. استجابة لهذا، تلتف الجسيمات أعلى وأسفل القطب الشمالي والجنوبي المغناطيسيين للكوكب، وتصطدم بجزيئات غازات الغلاف الجوي منتجة هالات من الوهج الملون. رصد تلسكوب هابل الفضائي هذا الوهج قرب قطبي كوكبي المشتري وزحل. وعلى الأرض تذكرنا ظاهرة الشفق القطبي (عند القطبين الشمالي والجنوبي) بحقيقة أن وجود الغلاف الجوي الواقي أمر طيب.

يمتد الغلاف الجوي للأرض فعليًّا فوق سطح الأرض بأعلى بكثير مما ندرك. والأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض في «مدارات منخفضة» تدور على ارتفاعات تتراوح من ١٠٠ إلى ٤٠٠ ميل فوق سطح الأرض، وتكمل دورة كاملة كل ٩٠ دقيقة. ومع أن من المستحيل على أي شخص التنفس على مثل هذه الارتفاعات، فإن بعض جزيئات الغلاف الجوي تظل موجودة، بما يكفي لامتصاص طاقة الدوران ببطء من الأقمار الصناعية الغافلة. ولمنع هذا الاستنزاف تحتاج الأقمار الصناعية التي تدور على ارتفاعات منخفضة إلى دفعات متقطعة، لكيلا تتهاوى إلى الأرض وتحترق في الغلاف الجوي. إن الطريقة المثلى لتحديد حافة غلافنا الجوي هي بالسؤال عن المكان الذي تقل كثافة جزيئاته الغازية إلى مستوى كثافة جزيئات الغاز في الفضاء النجمي. وبهذا التعريف يمتد الغلاف الجوي للأرض آلاف الأميال في الفضاء. تدور أقمار الاتصالات الصناعية على مستوى أعلى من هذا بكثير؛ ٢٣ ألف ميل فوق سطح الأرض (أي حوالي عشر المسافة بين الأرض والقمر)، وتنقل الأخبار والآراء عبر كوكب الأرض. على هذا الارتفاع الخاص، لا يكترث القمر الصناعي بالغلاف الجوي لكوكب الأرض وحسب، بل تقل أيضًا سرعة دورانه حول الأرض بشدة، بسبب قوة الجاذبية التي تقل كثيرًا على هذا الارتفاع، حتى إنه يحتاج إلى أربع وعشرين ساعة لإكمال دورة واحدة حول الأرض. ومن خلال التحرك بسرعة تماثل سرعة دوران الأرض حول نفسها، تبدو هذه الأقمار الصناعية وكأنها «تحوم» فوق نقطة بعينها على خط الاستواء، وهو ما يجعلها مثالية لبث الإشارات من أحد أجزاء سطح الأرض إلى آخر.

ينص قانون نيوتن للجاذبية على أنه مع أن جاذبية الكوكب تضعف باطراد كلما ابتعدت عنه، فإنك مهما ابتعدت فلن تقل قوة الجاذبية إلى الصفر، وأن أي جسم ذي كتلة ضخمة سيبذل قوى جذب كبيرة حتى لو على مسافات بعيدة. إن كوكب المشتري، بمجال جاذبيته الهائل، يصد العديد من المذنبات التي كانت ستُحدث الخراب في الجزء الداخلي من المجموعة الشمسية. وبهذا يعد المشتري بمنزلة درع جاذبية يحمي الأرض، ووفر لها فترات زمنية طويلة (من ٥٠ إلى ١٠٠ مليون عام) متواصلة من السلام والهدوء النسبيين. ودون حماية المشتري لكوكب الأرض، كانت أشكال الحياة المعقدة ستجد صعوبة في التطور لهذه الدرجة من التعقيد؛ إذ كانت ستعيش طوال الوقت في خطر الانقراض بفعل اصطدام مدمر.

لقد استفدنا من المجالات المغناطيسية للكواكب مع كل مسبار أرسلناه للفضاء. فمسبار المركبة كاسيني، على سبيل المثال، التي أُرسلت إلى كوكب زحل بغرض الوصول إليه في أواخر عام ٢٠٠٤، كانت قد أُطلقت من الأرض في الخامس عشر من أكتوبر عام ١٩٩٧، وساعدتها جاذبية كوكب الزهرة مرتين، وكوكب الأرض مرة واحدة (أثناء عودتها من الزهرة) وكوكب المشتري مرة واحدة. ومن الشائع تخطيط المسارات من كوكب لآخر بهذا الشكل، تمامًا مثل كرة البلياردو التي ترتد من جوانب الطاولة قبل الوصول إلى هدفها. وإذا لم نفعل هذا فلن تملك مسباراتنا الصغيرة السرعة والطاقة الكافيتين للوصول إلى وجهاتها.

سميت قطعة من حطام المجموعة الشمسية على اسم أحد مؤلفي هذا الكتاب. ففي نوفمبر من عام ٢٠٠٠، سمي أحد كويكبات الحزام الأساسي «١٩٩٤ كيه إيه»، والمُكتشف على يد ديفيد ليفي وكارولاين شوميكر، باسم «الكويكب ١٣١٢٣ تايسون». هذا تشريف لا شك، لكن لا يوجد ما يدعو المرء للتفاخر بشأنه، فكما ذكرنا من قبل فالعديد من الكويكبات تحمل أسماءً مألوفة على غرار جودي وهاربيت وتوماس. كما تحمل كويكبات أخرى أسماءً على شاكلة ميرلين وجيمس بوند وسانتا. بأعدادها المتزايدة التي وصلت الآن إلى نحو ٢٠ ألفًا، قد تتحدى الكويكبات ذات المدارات المثبتة جيدًا (وهو معيار تخصيص أسماء وأرقام لها) قدرتنا على تسميتها. وسواء جاء هذا اليوم أم لا، فهناك نوع عجيب من السلوى في معرفة أن قطعة الحطام الخاصة بنا ليست وحيدة في الفضاء، وأنها تغطي جزءًا من الفضاء بين الكواكب، بصحبة قائمة طويلة من القطع الأخرى المسماة على اسم شخصيات حقيقية وخيالية.

حين تحققنا من الأمر آخر مرة، لم يكن الكويكب ١٣١٢٣ تايسون متجهًا نحونا؛ لذا لا يمكننا إلقاء مسئولية إفناء الحياة على الأرض أو بدئها عليه.

الفصل الثالث عشر

عوالم لا حصر لها

كواكب خارج المجموعة الشمسية

عبر عوالم لا حصر لها يصير الله معروفًا،
وواجبنا نحن أن نستدل عليه في عالمنا.
فمن يستطيع اختراق الغياهب،
ليرى عوالم على عوالم يتألف منها الكون،
ويلحظ كيف يجري النظام داخل النظام،
وكيف تدور الكواكب الأخرى حول شموس أخرى،
وأي مخلوقات متنوعة تعمر كل نجمة،
قد يعرف لماذا خلقتنا السماء على ما نحن عليه.

ألكساندر بوب، «مقالة عن الإنسان» (١٧٣٣)

منذ خمسة قرون تقريبًا أحيا نيكولاس كوبرنيكوس فرضية كان أول من اقترحها الفلكي الإغريقي أرستارخوس. قال كوبرنيكوس إن الأرض لا تقع في مركز الكون، بل هي أحد أفراد عائلة من الكواكب تدور حول الشمس.

مع أن عددًا كبيرًا من البشر لم يتقبل بعد هذه الحقيقة، حيث يؤمنون في قلوبهم بأن الأرض ساكنة وأن السماء تتحرك حولها، فإن علماء الفلك قدموا منذ وقت طويل حججًا مقنعة تؤكد على صحة ما كتبه كوبرنيكوس عن طبيعة الكون. فالاستنتاج أن الأرض ليست أكثر من كوكب واحد وسط كواكب المجموعة الشمسية يشير على الفور إلى

وجود كواكب أخرى تشبه كوكبنا، وأنها قد تحتضن سكانًا مثلنا، يخططون ويحلمون ويعملون ويلعبون ويتخيَّلون.

لقرون عديدة افتقر الفلكيون الذين استخدموا التلسكوبات في رصد مئات الآلاف من النجوم المنفردة للقدرة على تبين هل لهذه النجوم كواكب خاصة بها. لقد كشفت مشاهداتهم عن أن شمسنا نجم نموذجي تمامًا، وأن نجومًا مماثلة لها تقريبًا موجودة بأعداد عظيمة في أنحاء مجرة درب التبانة. وإذا كان للشمس عائلة من الكواكب، فقد يكون لغيرها من النجوم كواكب خاصة بها قادرة بالمثل على احتضان كائنات حية من كل الأنواع الممكنة. تسبب الجهر بهذا الرأي بصورة تتحدى السلطة البابوية في إعدام جيوردانو برونو على الخازوق عام ١٦٠٠. واليوم، بإمكان السائحين السير بتمهل على طريقه عبر الزحام في المقاهي المفتوحة في ميدان كامبو دي فيوري بروما إلى أن يصلوا إلى تمثال برونو في مركزه، ثم التوقف لحظة للتفكر في قدرة الأفكار (وإن لم يكن قدرة من يحملونها) على الانتصار على من يقمعونها.

كما أوضح لنا مصير برونو، فإن تصور وجود حياة على كواكب أخرى يعد من أقوى الأفكار التي قد تخطر على العقل. ولو لم يكن الأمر كذلك، لكان برونو سيعيش حتى يطعن في السن، وما كانت ناسا لتحصل على التمويل الذي تحتاجه. وهكذا تركز التفكير في الحياة في عوالم أخرى على مر التاريخ على الكواكب التي تدور حول الشمس، وهو الأمر الذي لا تزال ناسا تركز عليه. لكن مع بحثنا عن الحياة خارج الأرض واجهنا فشل عظيم؛ إذ لا يبدو أي كوكب في مجموعتنا الشمسية صالحًا للحياة.

مع أن هذه الإجابة لا تنصف الطرق العديدة الممكنة التي يمكن أن تنشأ الحياة بها وتستمر، فإن الحقيقة هي أن استكشافاتنا المبدئية لكوكبي الزهرة والمريخ، إلى جانب المشتري وأقماره الكبرى، فشلت في تبيُّن أي علامات مقنعة على الحياة. بل على العكس، لقد وجدنا أدلة كثيرة على الظروف المعادية للغاية للحياة كما نعرفها. لا يزال علينا إجراء المزيد من البحث، ولحسن الحظ (لمن يشغلون بالهم بهذا الموضوع) يستمر البحث عن الحياة، خاصة على كوكب المريخ. ومع هذا فالحكم على إمكانية وجود حياة بالمجموعة الشمسية يبدو سلبيًّا بدرجة كبيرة، وهو ما يجعل العقول المرنة تنظر عادة إلى ما يتجاوز منطقتنا الكونية، نحو العوالم العديدة المحتملة التي تدور حول نجوم أخرى خلاف شمسنا.

حتى عام ١٩٩٥ كان بالإمكان إطلاق العنان للتخمين بشأن الكواكب التي تدور حول نجوم أخرى دون التقيد بالحقائق. فباستثناء عدد قليل من قطع الحطام المماثلة في الحجم لكوكب الأرض التي تدور حول بقايا نجم منفجر، والتي تكونت بشكل شبه مؤكد بعد انفجار مستعر أعظم ولا ينطبق عليها تقريبًا وصف كوكب، لم يعثر الفيزيائيون الفلكيون قط على كوكب واحد «خارج المجموعة الشمسية»، عالم يدور حول نجم آخر خلاف الشمس. لكن في نهاية ذلك العام جاء الإعلان المثير عن اكتشاف أول كوكب من هذا النوع، تبعه بأشهر قلائل، أربعة أخرى، وبعد ذلك استمر العثور على كواكب جديدة بشكل أكثر سلاسة. واليوم، نحن نعلم بوجود عدد من الكواكب خارج المجموعة الشمسية يفوق عدد الكواكب داخلها، ووصل إجمالي هذه الكواكب إلى أكثر من ١٠٠ كوكب، ومن المؤكد أن يستمر الرقم في الازدياد في الأعوام القادمة.

لوصف هذه العوالم المكتشفة حديثًا، ولتحليل تداعيات وجودها على بحثنا عن الحياة خارج الأرض، علينا التسليم بحقيقة وحيدة عسيرة التصديق؛ فمع تأكيد الفيزيائيين الفلكيين على معرفتهم بأماكن هذه الكواكب، وأنهم استنتجوا كتلتها وبعد الواحد منها عن النجم الذي يدور حوله والأوقات التي تحتاجها الكواكب لتكمل مداراتها، بل وحتى أشكال هذه الكواكب، فإنه لم يتمكن أحد من رؤية ولو كوكب واحد من هذه الكواكب أو تصويره.

كيف يسعنا استنتاج كل هذه المعلومات عن الكواكب التي لم نرها قط؟ تكمن الإجابة في العمل الكشفي المألوف لمن يدرسون ضوء النجوم؛ فعن طريق فصل الضوء إلى ألوان الطيف المكونة له، ومن خلال مقارنة أطياف آلاف النجوم بعضها ببعض، يستطيع المتخصصون في دراسة ضوء النجوم تمييز أنواع مختلفة من النجوم فقط من خلال نسب كثافات الألوان المختلفة التي تظهر في أطياف النجوم. في الماضي كان الفيزيائيون الفلكيون يصورون هذه الأطياف النجمية فوتوغرافيًّا، لكنهم اليوم يستخدمون أجهزة حساسة تسجل رقميًّا قدر الضوء النجمي من كل لون بعينه يصل إلى الأرض. ومع أن النجوم تبعد عنا بتريليونات الأميال، فإن طبيعتها الجوهرية صارت كتابًا مفتوحًا لنا. ويستطيع الفيزيائيون الفلكيون الآن أن يحددوا بسهولة — فقط من خلال قياس طيف ألوان الضوء النجمي — أي النجوم تشبه الشمس عن كثب، وأيها أكثر حرارة وأكثر سطوعًا، وأيها أبرد وأخفت من شمسنا.

وبإمكانهم عمل المزيد. فمع معرفتهم المتزايدة بتوزيع الألوان في أطياف أنواع النجوم المتباينة، يستطيع الفيزيائيون الفلكيون تحديد أي نمط مألوف في طيف النجم

سريعًا، وهو ما يبين في المعتاد الغياب الكلي أو الجزئي لألوان معينة في الضوء. وهم عادة ما يميزون مثل هذا النمط، لكنهم يجدون أن كل الألوان التي يتألف منها أزيحت قليلًا إما ناحية طرف اللون الأحمر أو البنفسجي من الطيف، وبهذا تكون كل العلامات الإرشادية إما مائلة للون الأحمر أو البنفسجي أكثر من المعتاد.

يميز العلماء هذه الألوان من خلال أطوالها الموجية، التي تقيس المسافة الفاصلة بين القمتين المتعاقبتين لموجة الضوء المتذبذبة. ولأن الأطوال الموجية تتطابق مع الألوان التي تدركها أعيننا وعقولنا، فإن استخدام الأطوال الموجية في تعيين الألوان يكون أكثر دقة من مجرد تسميتها بالكلمات كما نفعل في حديثنا العادي. وحين يحدد الفيزيائيون الفلكيون نمطًا مألوفًا من شدة الضوء المقاسة لآلاف الألوان المتباينة، لكنهم يجدون أن الأطوال الموجية في هذا النمط أطول (مثلًا) بواحد في المائة، فإنهم يخلصون إلى أن ضوء النجم تغير نتيجة تأثير دوبلر، وهو مصطلح يصف ما يحدث حين نرصد جسمًا وهو يبتعد عنا أو يقترب منا. فعلى سبيل المثال، إذا كان الجسم يقترب منا، أو كنا نتحرك نحوه، فسنجد أن الأطوال الموجية للضوء الذي نرصده «أقصر» من تلك الآتية من جسم آخر ساكن بالنسبة لموضعنا. وإذا كان الجسم يبتعد عنا، أو كنا نتحرك مبتعدين عنه، فسنجد أن الأطوال الموجية تصير «أطول» مما لو كان الجسم ساكنًا. تعتمد الإزاحة عن وضع السكون على السرعة النسبية بين مصدر الضوء ومن يرصدونه. وبالنسبة للسرعات الأقل بكثير من سرعة الضوء (البالغة ١٨٦ ألف ميل في الثانية)، يساوي التغير البسيط في جميع الأطوال الموجية للضوء، والمسمى بإزاحة دوبلر، نسبة سرعة الاقتراب أو الابتعاد إلى سرعة الضوء.

خلال فترة التسعينيات، كرَّس فريقان من الفلكيين، أحدهما في الولايات المتحدة والثاني في سويسرا، أنفسهما لزيادة الدقة التي يمكن بها قياس إزاحات دوبلر لضوء النجوم. وقد عمدا إلى هذا ليس فقط لأن العلماء يفضِّلون دومًا الحصول على قياسات أدق، بل لأنه كان لديهم هدف مباشر: اكتشاف وجود الكواكب من خلال دراسة ضوء النجوم.

لِمَ اتبعوا هذا الطريق غير المباشر لاكتشاف الكواكب خارج مجموعتنا الشمسية؟ لأن في وقتنا الحالي توفر هذه الطريقة السبيل الوحيد الفعال لاكتشاف الكواكب. وإذا كانت مجموعتنا الشمسية ترشدنا للمسافات التي تدور عليها الكواكب حول النجوم، فعلينا أن نستنتج أن هذه المسافات ليست إلا كسرًا بسيطًا من المسافات بين النجوم. إن

أقرب النجوم إلى الشمس يبعد عنا حوالي نصف مليون مرة ضعف المسافة بين الشمس وأقرب الكواكب لها؛ عطارد. وحتى المسافة بين بلوتو والشمس أقل من واحد على الخمسة آلاف من المسافة بيننا وبين رجل القنطور، وهي أقرب مجموعة شمسية إلينا. إن المسافات الضئيلة بين النجوم وكواكبها، إضافة إلى الخفوت الذي تعكس به الكواكب ضوء نجومها، يجعل الرؤية الفعلية للكواكب الموجودة خارج مجموعتنا الشمسية ضربًا من المستحيل. تخيل، مثلًا، أن أحد الفيزيائيين الفلكيين يقف على أحد كواكب مجموعة رجل القنطور ويوجه تلسكوبه صوب مجموعتنا الشمسية محاولًا تحديد كوكب المشتري، أكبر كواكب المجموعة. إن المسافة بين الشمس والمشتري تعادل واحدًا على خمسين ألفًا من المسافة بين الراصد وبين الشمس، بينما تبلغ درجة سطوع المشتري واحدًا على المليار من درجة سطوع الشمس. يحب الفيزيائيون الفلكيون تشبيه هذه المشكلة بمحاولة رؤية حشرة سراج الليل بجوار وهج كشاف ضوئي قوي. قد نستطيع عمل ذلك في يوم ما، لكن في الوقت الحالي لا تزال محاولة رصد الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية تفوق قدراتنا التكنولوجية.

يوفر لنا تأثير دوبلر سبيلًا آخر. فإذا درسنا النجم عن كثب، يمكننا أن نقيس بحرص أي تغيرات تظهر في إزاحة دوبلر للضوء الصادر عنه. هذه التغيرات قد تنشأ من التغير في السرعة التي يقترب بها النجم أو يبتعد عنا. وإذا أثبتنا أن هذه التغيرات تتبع دورة ثابتة — بمعنى أن درجتها ترتفع حتى حدٍّ أقصى ثم تهبط حتى حدٍّ أدنى، ثم تعاود الارتفاع للحد الأقصى نفسه، وتتكرر هذه الدورة على مدار فترات الوقت نفسها — سيكون وقتها الاستنتاج المنطقي هو أن هذا النجم من المؤكد أنه يتحرك في مدار حول نقطة بعينها في الفضاء.

ما الذي يتسبب في حركة النجم على هذا النحو؟ على حد علمنا، وحدها قوة الجاذبية الخاصة بجسم آخر قادرة على ذلك. لا ريب أن الكواكب، بطبيعتها، لها كتل أقل بكثير من أي نجم، ولهذا ليس لها سوى قوة جاذبية محدودة. وحين تمارس قوة الجذب على نجم قريب له كتلة أكبر منها بكثير، يكون الناتج تغيرًا طفيفًا في سرعة تحرك النجم. المشتري — على سبيل المثال — يتسبب في تغيير سرعة الشمس بحوالي ٤٠ قدمًا في الثانية، وهي سرعة أعلى قليلًا من سرعة أسرع عدَّائي العالم. وبينما يتم المشتري دورته التي تستمر اثني عشر عامًا أرضيًّا حول الشمس، سيقيس المراقب الموجود على مستوى هذا المدار إزاحات دوبلر لضوء الشمس. هذه الإزاحات ستبيِّن أنه في وقت معين ستزيد

سرعة الشمس بالنسبة للمراقب بمعدل ٤٠ قدمًا في الثانية عن القيمة المعتادة. وبعدها بستة أعوام سيجد المراقب نفسه أن سرعة الشمس أقل بمقدار ٤٠ قدمًا في الثانية عن السرعة المعتادة. وبين هاتين الفترتين ستتغير السرعة النسبية بسلاسة بين هاتين القيمتين القصويين. وبعد عقود قليلة من رصد هذه الدورة المتكررة، يستطيع المراقب أن يخلص إلى أن الشمس لها كوكب يدور حولها في مدار مدته اثنا عشر عامًا ويؤثر على مدار الشمس، بحيث تتغير سرعتها بفعل هذه الحركة. إن حجم مدار الشمس، بالمقارنة بحجم مدار المشتري، يساوي بالضبط معكوس النسبة بين كتلتي الجرمين. وبما أن كتلة الشمس تفوق كتلة المشتري ألف مرة، يكون مدار المشتري حول مركز جاذبيتهما المشترك أكبر ألف مرة من مدار الشمس، وهو ما يؤكد حقيقة أنه من الأصعب بألف مرة زحزحة الشمس من موضعها عن المشتري.

للشمس، بطبيعة الحال، عدة كواكب، وكل منها يجذب الشمس بفعل قوة جاذبيته. وعلى هذا يكون صافي حركة الشمس هو نتاج معقد لحركات مدارية، لكل واحدة منها فترة دوران متكررة. ولأن المشتري، أكبر كواكب الشمس وأضخمها، يبذل القدر الأعظم من قوة الجاذبية على الشمس، يهيمن التغير الذي يفرضه المشتري على نمط الحركة المعقد هذا.

حين سعى الفيزيائيون الفلكيون لاكتشاف الكواكب خارج المجموعة الشمسية من خلال مراقبة التغير في حركة النجوم، عرفوا أنه للعثور على كوكب مشابه للمشتري، يدور حول نجمه على مسافة مقاربة للمسافة التي يبعدها المشتري عن الشمس، سيكون عليهم قياس إزاحات دوبلر بدقة تكفي للكشف عن تغيرات السرعة التي تعادل أربعين قدمًا في الثانية تقريبًا. على سطح الأرض تبدو هذه السرعة كبيرة (حوالي ٢٧ ميلًا في الساعة)، لكن بالمقاييس الفلكية، نحن نتكلم عن أقل من جزء من المليون من سرعة الضوء، وحوالي واحد على الألف من السرعة العادية التي تتحرك بها النجوم مقتربة منا أو مبتعدة عنا. وعلى هذا، من أجل اكتشاف إزاحة دوبلر من خلال تغيير في السرعة يساوي جزءًا من المليون من سرعة الضوء، على الفيزيائيين الفلكيين قياس التغيرات في الطول الموجي؛ أي في لون النجم، بواقع جزء على المليون.

أثمرت هذه القياسات الدقيقة عما هو أكثر من اكتشاف الكواكب. فبادئ ذي بدء، بما أن خطة الكشف تعتمد على العثور على دورات متكررة من التغير في سرعة النجم، فإن

طول كل واحدة من هذه الدورات يقيس بشكل مباشر الفترة المدارية الخاصة بكل كوكب. وإذا تحرك النجم في دورة متكررة معينة، فمن المؤكد أن يتحرك الكوكب في فترة حركة مماثلة، وإن كانت في مدار أكبر بكثير. هذه الفترة المدارية تكشف بدورها عن المسافة بين الكوكب والنجم. أثبت إسحاق نيوتن منذ فترة طويلة أن أي جسم يدور حول النجم سيكمل كل مدار بشكل أسرع إذا كان أقرب لهذا النجم، وأبطأ إذا كان أبعد؛ ففترة الدوران تتناسب مع قيمة متوسط المسافة بين النجم والجسم الذي يدور حوله. في النظام الشمسي — على سبيل المثال — تعادل فترة دوران مداري قوامها عام واحد مسافة مساوية للمسافة بين الأرض والشمس، بينما تعني فترة دوران مداري قوامها اثنا عشر عامًا أن المسافة تساوي ضعف هذا المقدار بـ ٥٫٢ مرات؛ أي في حجم مدار المشتري. وبهذا يستطيع فريق الأبحاث الإعلان ليس فقط عن العثور على أحد الكواكب، بل عن أنهم يعرفون أيضًا كلًّا من فترة دورانه المداري ومتوسط المسافة بينه وبين نجمه.

وباستطاعتهم استنتاج المزيد عن الكوكب. فعند تحرك الكوكب على مسافة معينة من النجم، ستجذب جاذبية الكوكب النجم بقوة تتناسب مع كتلة الكوكب. وكلما كان الكوكب أكبر كانت القوة أكبر، وهذه القوى تسبب تغير حركة النجم بمعدل أسرع. وفور معرفة فريق البحث للمسافة بين الكوكب والنجم، يستطيع وقتها إدراج كتلة الكواكب في قائمة السمات التي حددوها من خلال الرصد الدقيق والاستنتاج.

هذا الاستنتاج لكتلة الكوكب من خلال رصد تغير حركة النجم يأتي مع إخلاء للمسئولية عن أي خطأ. فالفلكيون ليس لديهم أي سبيل لمعرفة ما إذا كانوا يرصدون نجمًا متغير الحركة من اتجاه يتصادف أنه متوافق بالضبط مع مستوى مدار الكوكب، أو من اتجاه عمودي على مستوى المدار مباشرة (وفي هذه الحالة ستكون سرعة النجم التي سيقيسونها صفرًا)، أو من اتجاه لا هو على امتداد المستوى بالضبط ولا عمودي عليه (وهو ما يحدث في كل الحالات تقريبًا). إن مستوى مدار الكوكب حول النجم يتوافق مع مستوى حركة النجم المتأثرة بجاذبية الكوكب. وعلى هذا، لن نرصد السرعات المدارية الكاملة إلا إذا تصادف أن كان خط البصر الخاص بنا يمر بنفس مستوى مدار الكوكب حول النجم. لتخيل موقف مشابه ولو من بعيد، تخيل أنك في مباراة للبيسبول، وأنك قادر على قياس سرعة الكرة بينما تتحرك قادمة نحوك أو مبتعدة عنك، لكنك ستعجز عن قياس السرعة التي تجتاز الكرة بها مجال رؤيتك. إذا كنت مكتشف مواهب فسيكون أفضل مكان تجلس فيه هو خلف القاعدة الأولى، على امتداد خط حركة الكرة

ذاته. لكن إذا شاهدت المباراة من الخطين القاعديين الأول أو الثالث — بحيث يكون خط رؤيتك متعامدًا على مسار الكرة — فإن الكرة التي سيقذف بها الرامي لن تبدو لك وكأنها تقترب منك أو تبتعد عنك، وإذا حاولت قياس سرعة الكرة على امتداد خط رؤيتك فستجد أن هذه السرعة ستبلغ الصفر تقريبًا.

نظرًا لأن إزاحة دوبلر تكشف فقط عن السرعة التي يتحرك بها النجم نحونا أو مبتعدًا عنا، لكنها لا تكشف عن السرعة التي يعبر بها النجم خط رؤيتنا، فنحن نعجز عادة عن تحديد مدى قرب خط رؤيتنا إلى النجم من مستوى مدار النجم. هذه الحقيقة تعني أن الكتل التي نستنتجها من الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية هي الحدود الدنيا للكتل، ولن نتأكد من أنها الكتل الحقيقية للكواكب إلا في الحالات التي نرصد فيها النجم على امتداد مستوى مداره. وفي المتوسط، تعادل الكتلة الفعلية للكوكب من خارج المجموعة الشمسية ضعف الحد الأدنى للكتلة المستنتج من رصد حركة النجم، لكننا لا نملك سبيلًا لمعرفة أي الكواكب تزيد كتلته عن هذا المتوسط وأيها تقل عنه.

إضافة إلى استنتاج فترة الدوران المداري للكوكب وحجم المدار، إلى جانب الحد الأدنى من كتلة الكوكب، يستطيع الفيزيائيون الفلكيون الذين يدرسون التغير في حركة النجوم من خلال تأثير دوبلر تحقيق نجاح آخر؛ إذ يستطيعون تحديد شكل مدار الكوكب. بعض كواكب المجموعة الشمسية، كالزهرة ونبتون، لها مدارات دائرية شبه تامة، بينما كواكب أخرى، كعطارد والمريخ وبلوتو، مداراتها بها استطالة واضحة، بحيث تكون الكواكب أقرب بكثير من الشمس في نقاط معينة على امتداد المدار عن غيرها من النقاط. ولأن الكواكب تتحرك أسرع بكثير حين تكون أقرب لنجومها، تتغير سرعة النجم بشكل أسرع في هذه الحالات. وإذا شاهد الفلكيون نجمًا يغير سرعته بمعدل ثابت على امتداد دورته، يستنتجون أن هذه التغيرات تنجم عن وجود كوكب يتحرك في مدار دائري. وعلى النقيض، إذا وجدوا أن التغيرات تحدث أحيانًا بصورة أسرع وأحيانًا أخرى بصورة أبطأ، يستنتجون أن الكوكب له مدار غير دائري، وبإمكانهم تحديد مقدار الاستطالة المدارية — القدر الذي ينحرف به المدار عن الدائرية — من خلال قياس المعدلات المختلفة التي يغير بها النجم من سرعته خلال دورته المدارية.

وهكذا، في انتصار للمشاهدات الدقيقة المقترنة بالقدرة على الاستنتاج، يستطيع الفيزيائيون الفلكيون العاكفون على دراسة الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية الخلوص إلى أربع خصائص أساسية بشأن أي كوكب يجدونه: الفترة المدارية للكوكب،

متوسط بعده عن النجم الذي يدور حوله، الحد الأدنى لكتلته، إضافة إلى استطالته المدارية. يحقق الفيزيائيون الفلكيون كل هذا من خلال اقتناص ألوان الضوء القادم من النجوم التي تبعد عن مجموعتنا الشمسية بمئات التريليونات من الأميال، ومن خلال قياس هذه التغيرات بدقة تتجاوز الواحد في المليون، وهي ذروة محاولاتنا لسبر أغوار السماء بحثًا عن أبناء عمومة الأرض.

تتبقى مشكلة واحدة فقط؛ فأغلب الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية والمكتشفة خلال العقد المنصرم تدور حول نجومها على مسافات أقل بكثير من المسافة بين الشمس وكواكبها. تبدو المشكلة أكبر لأن جميع الكواكب خارج المجموعة الشمسية المكتشفة إلى الآن لها كتل مماثلة لكتلة كوكب المشتري؛ ذلك الكوكب العملاق الذي يدور حول الشمس على مسافة تماثل خمسة أضعاف المسافة بين الأرض والشمس. لنأخذ دقيقة لدراسة الحقائق، قبل أن نلقي نظرة على تفسيرات الفيزيائيين الفلكيين للكيفية التي اكتسبت بها هذه الكواكب مداراتها الأصغر بكثير عن المدارات المألوفة لنا في مجموعتنا الشمسية.

كلما استخدمنا طريقة قياس التغير في حركة النجوم للبحث عن الكواكب التي تدور حول نجوم أخرى، علينا البقاء حذرين تجاه التحيزات التي تحملها هذه الطريقة في طياتها؛ أولًا: الكواكب القريبة من النجم تأخذ وقتًا أقل في الدوران حوله مما تأخذه الكواكب البعيدة عنه. وبما أن الفيزيائيين الفلكيين يملكون وقتًا محدودًا يرصدون فيه الكون، فمن الطبيعي أن يتمكنوا من اكتشاف الكواكب التي تدور حول النجوم في مدة قدرها ستة شهور، مثلًا، أسرع من اكتشافهم للكواكب التي تستغرق عشر سنوات لتكمل دورة واحدة. في كلتا الحالتين على الفيزيائيين الفلكيين الانتظار حتى انقضاء دورتين على الأقل للتأكد من أنهم اكتشفوا نمطًا متكررًا من التغيرات في سرعة النجم. ومن ثم سيستنفد العثور على كواكب ذات فترات مدارية تماثل فترة المشتري البالغة اثني عشر عامًا الجزء الأكبر من الحياة المهنية للفرد الواحد.

ثانيًا: سوف يبذل الكوكب من قوة الجاذبية على النجم الذي يدور حوله حين يكون قريبًا منه أكثر مما يبذله حين يكون بعيدًا عنه. وقوة الجاذبية الأكبر تسبب تغيرًا أسرع في سرعة النجم؛ ما يؤدي إلى وجود إزاحات دوبلر أكبر في طيفه. وبما أن بمقدورنا الكشف عن الإزاحات الأكبر أسهل من كشفنا للإزاحات الأصغر، تجذب الكواكب الأقرب لنجومها اهتمامًا أكبر، وتفعل هذا أسرع من الكواكب البعيدة عن نجومها. ومع ذلك،

وعلى جميع المسافات، يجب أن يتمتع الكوكب الموجود خارج المجموعة الشمسية بكتلة تماثل كتلة المشتري تقريبًا (٣١٨ مرة قدر كتلة الأرض) حتى يُكتشف بواسطة طريقة إزاحة دوبلر. فالكواكب الأقل كتلة تعجز عن التسبب في تغيير سرعة النجم تغييرًا يرقى إلى مستوى تستطيع الوسائل التكنولوجية اليوم الكشف عنه.

في ضوء ما سبق، ليس من المستغرب إذن أن يكون أول الكواكب المكتشفة خارج المجموعة الشمسية مماثل للمشتري من حيث الكتلة، وأنها جميعًا تدور بالقرب من نجومها. المفاجأة الحقيقية كانت في أن كثيرًا من هذه الكواكب اتضح أنها قريبة للغاية من شموسها، حتى إنها تكمل دورة كاملة ليس في غضون عدة أشهر أو سنوات كما هو الحال في كواكب المجموعة الشمسية، بل في غضون أيام قلائل. وجد الفيزيائيون الفلكيون إلى وقتنا هذا أكثر من عشرة كواكب يكمل كل منها مداره في أقل من أسبوع، وأحدها يحمل الرقم القياسي في إكمال دورته كل يومين ونصف. هذا الكوكب، الذي يدور حول نجم شبيه بشمسنا يعرف باسم «إتش دي ٧٣٢٥٦»، له كتلة لا تقل عن ١٫٩ مرة قدر كتلة المشتري، ويتحرك في مدار بسيط الاستطالة ومتوسط المسافة بينه وبين شمسه يعادل ٣٫٧ بالمائة فقط من المسافة بين الأرض والشمس. بعبارة أخرى، هذا الكوكب العملاق له كتلة تعادل ٦٠٠ مرة قدر كتلة الأرض، ويدور حول شمسه على بعد عُشر المسافة بين الشمس وعطارد.

يتكون عطارد من صخور ومعادن تتلظى في حرارة تصل إلى عدة مئات من الدرجات على الجانب المواجه دومًا للشمس. وعلى النقيض، فالمشتري وغيره من كواكب المجموعة الشمسية العملاقة (زحل وأورانوس ونبتون) كرات هائلة من الغازات، تحيط بقلوب صلبة لا تضم سوى نسبة مئوية بسيطة من كتلة الكوكب. وكل نظريات تكوُّن الكواكب تقضي ضمنًا بأن أي كوكب في مثل كتلة المشتري يستحيل أن يكون صلبًا، كعطارد والزهرة والأرض؛ لأن السحابة البدائية التي كونت الكواكب لم تحتوِ إلا على القليل من المادة التي يمكنها التصلب كي تكوِّن كوكبًا كتلته أكبر من كتلة الأرض بعشرات المرات. نستنتج من هذا، كخطوة أخرى في رحلتنا الكشفية العظيمة للكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية، أن كل الكواكب المكتشفة من هذا النوع حتى الآن (نظرًا لأن لها كتلة تماثل كتلة المشتري) لا بد أن تكون هي الأخرى كرات عظيمة من الغازات.

يترتب على هذا الاستنتاج سؤالان: كيف استطاعت هذه الكواكب الشبيهة بالمشتري التواجد في مدارات قريبة كهذه من شموسها، ولماذا لا تتبخَّر الغازات المكونة لها في

ظل الحرارة المهولة؟ للسؤال الثاني إجابة سهلة نسبيًّا: فكتل الكواكب الهائلة تستطيع الحفاظ على الغازات الخفيفة الساخنة حتى مئات الدرجات؛ لأن قوة جاذبية هذه الكواكب يمكنها التغلب على ميل ذرات وجزيئات الغازات للهرب إلى الفضاء. ومع ذلك، ففي أشد الحالات تطرفًا تميل الكفة بقدر يسير لمصلحة الجاذبية، ويقع الكوكب مباشرة خارج النطاق الذي تتسبب فيه حرارة شمسه في تبخير غازاته.

السؤال الأول المتعلق بالكيفية التي وصلت بها الكواكب العملاقة إلى مداراتها حول شموسها الشبيهة بشمسنا يأخذنا نحو القضية الجوهرية الخاصة بالكيفية التي تكونت بها الكواكب. كما رأينا في الفصل الحادي عشر، عمل المنظرون بجد من أجل التوصل إلى قدر من الفهم لعملية تكون الكواكب في المجموعة الشمسية. وقد خلصوا إلى أن كواكب الشمس كونت نفسها عن طريق مراكمة المادة؛ إذ نمت من كتل أصغر من المادة إلى أخرى أكبر داخل سحابة مسطحة من الغازات والغبار. وداخل كتلة المادة المسطحة الدوارة المحيطة بالشمس هذه، تكونت تركيزات فردية من المادة، بشكل عشوائي في البداية، لكن لاحقًا، بسبب تمتعها بكثافة أعلى من المتوسط، من خلال الفوز في مسابقة شد الحبل الجذبوية بين الجسيمات المختلفة. وفي المراحل النهائية لهذه العملية استمرت الأرض وغيرها من الكواكب الصلبة على قيد الحياة بعد التعرض لقصف عنيف من آخر الشظايا العملاقة للمادة.

أثناء عملية التجمع هذه بدأت الشمس في السطوع، متسببة في تبخير العناصر الأخف كالهيدروجين والهيليوم من المناطق القريبة مباشرة منها، وتاركة الكواكب الأربعة الداخلية (عطارد والزهرة والأرض والمريخ)، وهي تتألف بالكامل تقريبًا من العناصر الأثقل كالكربون والأكسجين والسليكون والألومنيوم والحديد. وعلى النقيض من ذلك، فإن كل كتلة من كتل المادة التي تكونت على مسافة من خمسة إلى ثلاثين ضعف المسافة من الأرض إلى الشمس ظلت على قدر كافٍ من البرودة بحيث احتفظت بمعظم الهيدروجين والهيليوم الموجود بالقرب منها. ولأن هذين العنصرين هما الأخف بين العناصر فهما أيضًا أكثر العناصر وفرة، ونتج عن الاحتفاظ بهما أربعة كواكب عملاقة، كل منها يعادل أضعاف كتلة الأرض.

لا ينتمي بلوتو إلى طبقة الكواكب الداخلية الصخرية ولا إلى مجموعة الكواكب الخارجية الغازية. بدلًا من ذلك يشبه بلوتو، الذي لم يُفحص بعد من خلال أي مركبة فضائية مرسلة من الأرض، مذنبًا عملاقًا، مكونًا من خليط من الصخور والجليد. إن

المذنبات، التي يتراوح قطرها عادة من ٥ إلى ٥٠ ميلًا، خلافًا لبلوتو الذي يصل قطره إلى ٢٠٠ ميل، تعد من أوائل كتل المادة التي تكونت في بدايات المجموعة الشمسية، ولا يضاهيها عمرًا إلا أقدم النيازك، التي هي قطع من الصخور أو المعادن أو مزيج من الصخور والمعادن تصادف أنها ضربت سطح الأرض ويستطيع من تعلم التفريق بين النيازك والصخور العادية التعرف عليها.

وعلى هذا بنت الكواكب نفسها من مادة تشبه تلك الموجودة في المذنبات والنيازك، ثم استخدمت الكواكب العملاقة قلوبها الصلبة في اجتذاب كميات كبيرة من الغازات والاحتفاظ بها. أظهر تحليل العمر إشعاعيًّا للعناصر المعدنية الموجودة في النيازك أن أقدمها يبلغ من العمر ٤٫٥٥ مليارات عام؛ أي أقدم بقدر ملحوظ من أقدم الصخور التي عُثر عليها على القمر (٤٫٢ مليارات عام) أو الأرض (٤ مليارات عام). إن مولد المجموعة الشمسية، الذي حدث إذن منذ حوالي ٤٫٥٥ مليارات عام قبل الميلاد، أدى بصورة طبيعية إلى تمايز الكواكب إلى مجموعتين: الكواكب الداخلية الصلبة الصغيرة نسبيًّا، والكواكب العملاقة الغازية الأكبر بكثير في الحجم والكتلة. تدور الكواكب الأربعة الداخلية حول الشمس على مسافات تتراوح من ٠٫٣٧ إلى ١٫٥٢ مرة قدر المسافة بين الأرض والشمس، بينما تظل الكواكب الأربعة العملاقة على مسافات أبعد بكثير، تتراوح من ٥٫٢ مرات إلى ٣٠ مرة قدر المسافة بين الأرض والشمس، وهو ما مكنها من أن تكون عملاقة.

يبدو هذا الوصف لكيفية تكون كواكب المجموعة الشمسية منطقيًّا لدرجة كبيرة، لكن من المخزي أننا وجدنا أمثلة كثيرة للغاية على أجرام ذات كتل مماثلة لكتلة المشتري، وتتحرك في مدارات حول شموسها أقل من المسافة التي تفصل عطارد عن شمسنا. بل في الواقع، لأن أول كواكب نكتشفها خارج المجموعة الشمسية تقع جميعها على مسافات صغيرة عن شموسها، بدا لوهلة أن مجموعتنا الشمسية هي الاستثناء، وليست النموذج الطبيعي للمجموعات الشمسية، كما افترض المنظرون حين لم يكن بين أيديهم شيء آخر يبنون عليه استنتاجاتهم. وقد أمدهم فهمهم للتحيز الذي تفرضه السهولة النسبية لاكتشاف الكواكب القريبة من شموسها ببعض الطمأنينة، ولم يمض وقت طويل حتى كانوا قد رصدوا، لفترة كافية وبدقة كافية، كواكب غازية تدور على مسافات أبعد بكثير حول شموسها.

واليوم تبدأ قائمة الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية، والمرتبة حسب المسافة من النجم إلى الكوكب، بالكوكب الذي تحدثنا عنه مسبقًا الذي يستغرق ٢٫٥ يوم

فقط لإكمال كل دورة، وتمتد عبر مئات الكواكب حتى النجم «كانكري ٥٥»، الذي يدور حوله كوكب تبلغ كتلته ما لا يقل عن أربعة أضعاف كتلة المشتري في فترة قوامها ١٣,٧ عامًا لكل دورة. من فترة الدوران المداري يستطيع الفيزيائيون الفلكيون حساب المسافة بين هذا الكوكب وشمسه، والبالغة ٥,٩ مرات قدر المسافة بين الأرض والشمس، أو ١,١٤ مرة قدر المسافة بين المشتري والشمس. يعد هذا أول كوكب يُكتشف يدور حول شمسه على مسافة أكبر من المسافة بين المشتري والشمس، وبهذا تبدو تلك المجموعة الشمسية مشابهة إلى حدٍّ ما لمجموعتنا الشمسية، على الأقل من منظور النجم وأكبر كواكبه.

لكن ليس هذا دقيقًا تمامًا. فالكوكب الذي يدور حول النجم «كانكري ٥٥» على مسافة قدرها ٥,٩ قدر المسافة بين الأرض والشمس ليس أول كوكب يُكتشف لهذا النجم، بل الثالث. في وقتنا الحالي جمع الفلكيون بيانات كافية، وصاروا يتحلون بمهارة كبيرة في تفسير مشاهداتهم عن إزاحات دوبلر، لدرجة تمكنهم من فك طلاسم التغيرات المعقدة في حركة النجوم التي يتسبب فيها وجود كوكبين أو أكثر. فكل واحد من هذه الكواكب يحاول التأثير على النجم ليتحرك وفق إيقاعه، وذلك على فترة متكررة تعادل مدار الكوكب حول النجم. ومن خلال الرصد لفترة طويلة بما يكفي، وبالاستعانة بالبرامج الحاسوبية القادرة على إجراء أي حسابات، يستطيع صائدو الكواكب استخلاص تغيرات الحركة الأساسية التي يتسبب فيها كل كوكب بمفرده من غابة التغيرات المتشابكة. في حالة النجم «كانكري ٥٥»، وهو نجم متواضع يمكن رؤيته في كوكبة السرطان، وجد العلماء بالفعل كوكبين قريبين للنجم، لهما فترات مدارية قوامها ٤٢ و٨٩ يومًا، وحد أدنى من الكتلة قدره ٠,٨٤ و٠,٢١ من كتلة المشتري، على الترتيب. الكوكب ذو الكتلة الأقل التي تعادل «فقط» ٠,٢١ قدر كتلة المشتري (٦٧ مرة قدر كتلة الأرض) يعد من أقل الكواكب الضخمة المكتشفة، إلا أن الرقم القياسي للكتلة الأقل في الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية انخفض الآن إلى ٣٥ مرة قدر كتلة الأرض، وهو لا يزال يفوق كتلة الأرض بكثير؛ لذا علينا ألا نحبس أنفاسنا في انتظار أن يكتشف العلماء كوكبًا مقاربًا للأرض في وقت قريب.

لكن مهما درنا حول المشكلة فلن نستطيع تفاديها. تتعلق المشكلة، الظاهرة بجلاء من مدارات الكواكب المحيطة بالنجم «كانكري ٥٥»، بتفسير سبب وكيفية دوران كثير من الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية، ذات الكتل المماثلة لكتلة المشتري، حول شموسها على مسافات قصيرة للغاية. وسيخبرنا الخبراء أنه يستحيل على كوكب في حجم

المشتري التكون على مسافة تبعد عن الشمس بأقل من ثلاثة إلى أربعة أضعاف المسافة بين الأرض والشمس. وإذا افترضنا أن الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية تتبع هذه القاعدة، فمن المؤكد أنها تحركت إلى مسافات أقرب لشموسها بعد التكون. وهذه النتيجة — إذا صحت — من شأنها أن تثير على الأقل ثلاثة أسئلة مثيرة للجدل:

(١) ما الذي جعل هذه الكواكب تتحرك لمدارات أصغر بعد تكونها؟
(٢) ما الذي منعها من مواصلة التحرك إلى أن تسقط في شموسها وتحترق؟
(٣) لماذا حدث هذا في العديد من المجموعات الشمسية الأخرى، لكن ليس في مجموعتنا؟

لهذه الأسئلة إجابات نابعة من القريحة الخصبة للمتحمسين حيال اكتشاف كوكب خارج مجموعتنا الشمسية. ونستطيع تلخيص السيناريو المفضل لدى الخبراء كالتالي:

(١) «هجرة الكواكب» حدثت لأن كميات المادة الكبيرة المتخلفة عن عملية التكون استمرت في الدوران حول النجم داخل مدار الكواكب العملاقة المتكونة حديثًا. تتسبب الجاذبية الكبيرة للكواكب في دفع هذه المادة بانتظام نحو مداراتها الخارجية، وهو ما يتسبب بالتبعية في زحف الكواكب إلى الداخل.

(٢) حين اقتربت الكواكب نحو شموسها لمسافات أقرب من المسافات التي تكونت عليها، ثبَّتت قوى المد للنجم كل كوكب في موضعه. هذه القوى، الشبيهة بقوى المد الآتية من الشمس والقمر التي تسبب ارتفاع مستوى المحيطات على الأرض، أجبرت الكواكب على الدوران حول نفسها في نفس المدة التي تستغرقها في الدوران حول شمسها، كما حدث للقمر بفعل قوى المد الآتية من الأرض. وقد منعت أيضًا أي مزيد من الاقتراب بين الكوكب والنجم، وذلك لأسباب تتطلب الانغماس في ميكانيكا الأجرام السماوية بدرجة تستحق منا أن نغفل ذكرها هنا.

(٣) من المرجح أن الصدفة وحدها حددت أي المجموعات الشمسية تكونت بقطع ضخمة من الحطام، والقادرة على الحث على هجرة الكواكب، وأيها، مثل مجموعتنا، بها قدر قليل نسبيًّا من الحطام بحيث ظلت الكواكب على نفس المسافات التي تكونت عليها. في حالة الكواكب التي تدور حول النجم «كانكري ٥٥»، من المحتمل أن تكون الكواكب الثلاثة قد هاجرت إلى الداخل، وأن أبعدها قد تكوَّن على مسافة تعادل أضعاف المسافة التي تفصله حاليًّا عن شمسه. أو ربما تكون التفاصيل الخاصة بمقدار الحطام

الموجود داخل مدار الكوكب، والمقدار الموجود خارجه، هي التي تسببت في الهجرة الكبيرة للكوكبين الداخليين، بينما ظل الكوكب الثالث في مداره الأصلي.

أقل ما يمكن قوله هو أنه لا يزال أمام الفيزيائيين الفلكيين عمل كبير قبل أن يسعهم الزعم بأنهم فسروا كيفية تكون مجموعات الكواكب المحيطة بالنجوم. في الوقت ذاته يستمر الباحثون عن كواكب خارج المجموعة الشمسية في السعي وراء حلمهم بالعثور على توءم للأرض؛ كوكب مماثل للأرض من حيث الحجم والكتلة والمسافة المدارية عن النجم الأم. وإذا وجدوا مثل هذا الكوكب، فهم يأملون في استكشافه — حتى لو كان على بعد عشرات السنوات الضوئية — بدقة كافية لتحديد ما إذا كان يملك غلافًا جويًّا ومحيطات مثل الأرض، وربما توجد حياة على هذا الكوكب الشبيه بكوكبنا.

يعرف الفيزيائيون الفلكيون، أثناء سعيهم وراء هذا الحلم، أنهم بحاجة إلى معدات تدور فوق غلافنا الجوي، الذي تمنعنا تأثيرات التشوش الخاصة به من الحصول على قياسات دقيقة للغاية. تهدف إحدى التجارب — مهمة كبلر التي أطلقتها ناسا — لرصد مئات الآلاف من النجوم القريبة، وتسعى لرصد النقصان الطفيف في ضوء النجوم (البالغ واحدًا من مائة في المائة) الذي تسببه حركة الكواكب المشابهة للأرض في الحجم عبر خط الرؤية بيننا وبين النجم. يمكن لهذا الأسلوب أن ينجح فقط في المواقف النادرة التي تكون فيها رؤيتنا ممتدة على امتداد المستوى المداري ذاته للكوكب، لكن في تلك الحالات ستساوي الفترة المنقضية بين مرات عبور الكوكب أمام النجم الفترة المدارية للكوكب، التي ستحدد بدورها المسافة بين النجم والكوكب، وسيكشف حجم النقصان في ضوء النجم عن حجم الكوكب.

ومع ذلك، إذا كنا نأمل في معرفة ما هو أكثر من الخصائص الفيزيائية للكوكب، فعلينا دراسته من خلال التصوير المباشر وتحليل طيف الضوء الذي يعكسه الكوكب في الفضاء. ولدى كل من ناسا وإيسا — وكالة الفضاء الأوروبية — برامج قيد التنفيذ لتحقيق هذا المأرب في غضون عقدين من الزمان. فمن شأن رؤية كوكب شبيه بالأرض، حتى لو بدا كنقطة زرقاء شاحبة قريبة من نجم أسطع منها بكثير، أن تلهم جيلًا جديدًا من الشعراء والفيزيائيين والسياسيين. إن تحليل الضوء المنعكس عن النجم، ومن ثم تحديد هل يحتوي غلافه الجوي على الأكسجين (وهي الإشارة المحتملة على وجود حياة) أو الأكسجين والميثان (وهي العلامة الأكيدة تقريبًا على وجود حياة) أم لا، سيعد من نوعية الإنجازات التي تغنى بها الشعراء من قبل، وسيعلي من شأن بشر عاديين

لمصافِّ الأبطال لعصور، ويضعنا وجهًا لوجه (كما كتب إف سكوت فيتزجيرالد في روايته «جاتسبي العظيم») أمام شيء يتناسب مع قدرة الإنسان على التعجب. أما من يحلمون بالعثور على الحياة في مكان آخر بالكون، فينتظرهم القسم الأخير من هذا الكتاب.

الجزء الخامس

أصل الحياة

الفصل الرابع عشر

الحياة في الكون

يأخذنا بحثنا عن البدايات — كما توقعنا — إلى أكثر الألغاز ألفة وأعظمها قاطبة: بداية الحياة، وعلى الأخص بداية أشكال الحياة التي قد نتواصل معها يومًا ما. على مدار قرون تساءل البشر عن الكيفية التي قد نعثر بها على كائنات ذكية في الكون، والتي قد نستمتع معها بمحادثة بسيطة على الأقل قبل أن يطوينا التاريخ. قد تظهر أدلة جوهرية تساعد على حل هذا اللغز في المخطط التمهيدي الكوني لبداياتنا، الذي يتضمن بداية الأرض داخل كواكب المجموعة الشمسية، وبداية النجوم التي توفر الطاقة للحياة، وبداية البنية في الكون، وبداية الكون ذاته وتطوره.

وإذا أمكننا قراءة هذا المخطط التمهيدي بالتفصيل، فقد يوجهنا من أكبر المواقف الفلكية إلى أصغرها، من الكون غير المحدود إلى المواضع الفردية التي تزدهر بها أنواع مختلفة من الحياة وتتطور. وإذا أمكننا مقارنة أشكال الحياة المتنوعة التي نشأت في ظل ظروف متعددة، فسنتمكن من إدراك القواعد الحاكمة لبدايات الحياة، سواء بصفة عامة أو في المواقف الكونية الخاصة. واليوم نحن نعرف شكلًا وحيدًا من أشكال الحياة: الحياة على الأرض، التي تشترك بكافة صورها في بداية واحدة، وتستخدم جزيئات الحمض النووي كوسيلة أساسية لإعادة إنتاج نفسها. هذه الحقيقة تحرمنا من وجود أمثلة متعددة على الحياة، وتحيل مسألة البحث عن الحياة في الكون إلى المستقبل، وهو ما لن نستطيع تحقيقه إلا إذا بدأنا يومًا ما في اكتشاف أشكال من الحياة خارج كوكبنا.

يمكن أن تصير الأمور أسوأ من ذلك. فنحن نعرف الكثير عن تاريخ الحياة على كوكبنا بالفعل، ولا بد أن نبني على هذه المعرفة من أجل استنباط المبادئ الأساسية عن الحياة في أرجاء الكون. وبقدر اعتمادنا على هذه المبادئ سوف تخبرنا متى وأين يوفر الكون — أو وفر في الماضي — المتطلبات الأساسية للحياة. وفي جميع محاولاتنا

لتصور الحياة في أماكن أخرى، علينا مقاومة الوقوع في شَرَك التفكير البشري المجسد، وهي النزعة الطبيعية لتصور أشكال الحياة خارج الأرض في شكل مشابه لشكل الحياة على الأرض. هذا التوجه الإنساني بالكامل، الذي ينبع من خبراتنا التطورية والشخصية على كوكب الأرض، يحد من قدرتنا على التخيل حين نحاول تصور الكيفية التي قد تكون عليها الحياة على الكواكب الأخرى. ووحدهم علماء الأحياء الذين على معرفة وافية بالتنوع المذهل ومظاهر أشكال الحياة المختلفة على الأرض يمكنهم أن يستنبطوا بثقة ما يمكن أن تكون عليه أشكال الحياة خارج الأرض. وغرابة هذه الأشكال تقع بالتأكيد خارج نطاق القدرات التخيلية للأشخاص العاديين.

في يوم ما، ربما العام القادم أو خلال القرن القادم أو ربما بعد ذلك بوقت طويل، إما سنكتشف حياة خارج كوكب الأرض أو نحصل على بيانات وافية نخلص منها، كما يقترح بعض العلماء الآن، إلى أن الحياة على كوكبنا تمثل ظاهرة فريدة داخل مجرة درب التبانة. وفي الوقت الحالي يمكننا عدم امتلاك معلومات كافية من التفكير في نطاق عريض للغاية من الاحتمالات؛ فقد نجد الحياة على أجرام عديدة داخل المجموعة الشمسية، وهو ما سيعني أن الحياة موجودة داخل مليارات المجموعات الشمسية المشابهة في مجرتنا. أو قد نجد أن الأرض وحدها هي التي تستضيف الحياة داخل المجموعة الشمسية، وهو ما سيترك مسألة وجود الحياة حول النجوم الأخرى مفتوحة في الوقت الحالي. أو قد نكتشف في نهاية المطاف أن الحياة غير موجودة حول أي نجم، مهما نظرنا بعيدًا. في البحث عن الحياة في الكون، تمامًا مثل أي نشاط آخر، يزداد التفاؤل بفعل النتائج الإيجابية، بينما تقوى الآراء المتشائمة بفعل النتائج السلبية. إن أحدث المعلومات التي تؤثر على فرص وجود حياة خارج الأرض — اكتشاف وجود كواكب تدور حول العديد من النجوم القريبة من الشمس — يعزز النتيجة الإيجابية القائلة إن الحياة قد تكون موجودة في مواضع عدة داخل مجرة درب التبانة. ومع هذا، هناك قضايا عظيمة بحاجة للحل قبل أن تترسَّخ هذه النتيجة أكثر وأكثر. فمثلًا، إذا كان عدد الكواكب كبيرًا، لكن لم يكن أي منها يوفر الظروف الملائمة للحياة، فعندئذٍ قد تثبت صحة وجهة النظر المتشائمة حول وجود الحياة خارج الأرض.

إن العلماء الذين يتفكرون في احتمالات وجود حياة خارج الأرض عادة ما يستعينون بمعادلة دريك، المسماة على اسم فرانك دريك، الفلكي الأمريكي الذي ابتكرها في بدايات

الستينيات. تمثل معادلة دريك مفهومًا مفيدًا أكثر من كونها بيانًا صارمًا بالكيفية التي يعمل بها الكون المادي. تنظم المعادلة مواطن معرفتنا ومواطن جهلنا بشكل مفيد، وذلك من خلال تفصيل العدد الذي نسعى حثيثًا لتحديده — عدد الأماكن التي يوجد بها حياة ذكية في الكون اليوم — إلى مجموعة من الشروط، كل واحد منها يصف ظرفًا ضروريًّا لوجود حياة ذكية. هذه الشروط تضم: (١) عدد النجوم في مجرة درب التبانة التي تحيا لفترة تكفي لتطور حياة ذكية على الكواكب التي تدور حولها. (٢) متوسط عدد الكواكب التي تدور حول هذه النجوم. (٣) نسبة الكواكب ذات الظروف المواتية للحياة. (٤) احتمال نشوء الحياة على هذه الكواكب الملائمة. (٥) فرصة تطور الحياة على هذه الكواكب لكي تنتج حضارة ذكية، التي يقصد بها الفلكيون شكلًا من الحياة قادرًا على التواصل معنا. حين نضرب هذه الشروط بعضها في بعض، سنحصل على عدد الكواكب داخل مجرة درب التبانة التي بها حضارات ذكية في مرحلة ما من تاريخها. ولكي نجعل معادلة دريك تعطينا العدد الذي نسعى إليه — عدد الحضارات الذكية الموجودة في أي وقت بعينه، كوقتنا الحالي — علينا ضرب هذا الناتج في شرط سادس وأخير، وهو نسبة متوسط عمر الحضارة الذكية إلى العمر الإجمالي لمجرة درب التبانة (والبالغ حوالي ١٠ مليارات عام).

كل شرط من الشروط الستة لمعادلة دريك يتطلب قدرًا من المعرفة الفلكية أو البيولوجية أو الاجتماعية. نحن الآن نملك تقديرات طيبة بشأن أول شرطين في المعادلة، ومن المرجح أن نحصل على تقدير مفيد للشرط الثالث قريبًا. من ناحية أخرى، الشرطان الرابع والخامس — احتمالية نشوء الحياة على كوكب ملائم واحتمال تطور هذه الحياة حتى تنتج حضارة ذكية — يتطلبان منا أن نكتشف ونفحص عددًا متنوعًا من أشكال الحياة في أرجاء المجرة. وفي الوقت الحالي بمقدور أي شخص الجدال بشأن قيمة هذين الشرطين تمامًا مثل الخبراء. فمثلًا: ما احتمالية ظهور الحياة فعليًّا على سطح كوكب ظروفه ملائمة للحياة؟ للإجابة عن هذا السؤال بطريقة علمية سنحتاج إلى دراسة كواكب عديدة ظروفها ملائمة للحياة لمدة مليارات من الأعوام لمعرفة كم منها سينتج حياة بالفعل. وأي محاولة لتحديد متوسط عمر إحدى الحضارات في مجرة درب التبانة ستتطلب بالمثل مليارات عديدة من الأعوام من الرصد، وذلك بعد أن نكون قد حددنا عددًا كافيًا من الحضارات يمثل عينة نموذجية.

أليست هذه بمهمة مستحيلة؟ فالحل الكامل لمعادلة دريك يقع في المستقبل البعيد للغاية، إلا إذا قابلنا حضارات أخرى حلت المعادلة بالفعل، مستخدمة إيانا كبعض

البيانات. ومع هذا فالمعادلة تقدم لنا رؤى مفيدة بشأن ما نحتاجه لتقدير عدد الحضارات الموجودة في المجرة الآن. والشروط الستة لمعادلة دريك يشبه بعضها بعضًا من الناحية الحسابية من حيث تأثيرها على الناتج النهائي؛ إذ إن كل واحد منها له تأثير مباشر مضاعِف على جواب المعادلة. فمثلًا، إذا افترضنا أن كوكبًا من كل ثلاثة كواكب صالحة للحياة ينتج الحياة بالفعل، لكن الفحص الدقيق أثبت لنا لاحقًا أن هذه النسبة هي ١ في كل ٣٠ كوكبًا، سنكون بهذا قد ضاعفنا عدد الحضارات بعشرة أضعاف، على افتراض أن بقية تقديراتنا للشروط الأخرى ظلت كما هي.

بالحكم على الأمر من خلال ما نعرفه الآن، فالشروط الثلاثة الأولى في معادلة دريك تدلنا ضمنًا على وجود مليارات المواضع المحتمل وجود حياة بها في درب التبانة. (ونحن نقصر بحثنا على مجرة درب التبانة بدافع من التواضع، إضافة إلى إدراكنا أن الحضارات الموجودة في المجرات الأخرى ستجد صعوبة أكبر بكثير في التواصل معنا، مثلما سنجد صعوبة في التواصل معها.) وبإمكانك إن شئت الدخول في نقاشات تحليلية مع أصدقائك وأفراد عائلتك وزملائك بشأن قيمة الشروط الثلاثة الباقية، ومن ثم تحديد الأعداد التي ستشكل تقديرك الخاص لإجمالي عدد الحضارات البارعة من الناحية التكنولوجية الموجودة في مجرتنا. وإذا آمنت، مثلًا، بأن أغلب الكواكب الملائمة للحياة ستنتج حياة بالفعل، وأن أغلب الكواكب التي عليها حياة تتطور بها حضارات ذكية، فقد تخلص إلى أن مليارات الكواكب الموجودة في درب التبانة تنتج حضارات ذكية في مرحلة ما من عمرها. وعلى النقيض من ذلك، فإذا استنتجت أن كوكبًا واحدًا من كل ألف كوكب ملائم للحياة ينتج حياة بالفعل، وأن كوكبًا واحدًا من كل ألف كوكب صالح للحياة يمكن أن تتطور به حياة ذكية، فسيكون لديك آلاف، وليس مليارات، الكواكب ذات الحضارات الذكية. هل هذا النطاق المهول من الإجابات — والأعرض ربما من الأمثلة المعروضة هنا — يعني أن معادلة دريك هي أقرب إلى التخمين الجامح الطائش من كونها علمًا؟ على الإطلاق. فهذه النتيجة تشهد ببساطة على العمل الخارق الذي يواجهه العلماء، وغيرهم، عند محاولة الإجابة عن سؤال معقد للغاية استنادًا على معارف محدودة بشدة.

إن الصعوبة التي نواجهها في تحديد قيمة الشروط الثلاثة الأخيرة لمعادلة دريك توضح الخطوة غير الأمينة التي نأخذها كلما أصدرنا تعميمًا شاملًا بناءً على مثال وحيد، أو على لا شيء على الإطلاق. فنحن متحمِّسون بشدة، مثلًا، لتقدير متوسط عمر أي حضارة في مجرة درب التبانة في الوقت الذي لا نعرف فيه حتى متوسط عمر حضارتنا.

هل علينا عدم الوثوق بتقديراتنا بشأن هذه الأعداد؟ سيكون في هذا تأكيد على جهلنا وفي الوقت ذاته يحرمنا من متعة التخمين. فإذا كنا نسعى — في غياب البيانات أو أي معتقد راسخ — للتخمين بشكل محافظ، فسيعتمد السبيل الأكثر أمانًا (مع أنه قد يثبت خطؤه في نهاية المطاف) على فكرة أننا لسنا متميزين. يطلق الفيزيائيون الفلكيون على هذا الافتراض «مبدأ كوبرنيكوس» على اسم نيكولاس كوبرنيكوس الذي افترض — في أواسط القرن الرابع عشر — أن الشمس هي مركز المجموعة الشمسية، وهو الافتراض الذي ثبتت صحته لاحقًا. وحتى ذلك الوقت، وبالرغم من نموذج الكون المتمركز حول الشمس الذي اقترحه في القرن الثالث قبل الميلاد الفيلسوف الإغريقي أرسطارخوس، كان نموذج الكون المتمركز حول الأرض هو المهيمن على الرأي العام طيلة الألفي عام التالية. إن هذا المعتقد الراسخ الذي عززته تعاليم أرسطو وبطليموس، ومواعظ الكنيسة الكاثوليكية الرومانية، أدى إلى قَبول أغلب الأوروبيين بفكرة أن الأرض هي مركز الوجود بأسره. ولا ريب أن هذا الأمر بدا بديهيًّا من واقع النظر إلى السماء وأيضًا كنتيجة طبيعية لخطة الإله لكوكبنا. وحتى في يومنا هذا لا يزال قطاع كبير من سكان الأرض — أغلبية كبيرة على الأرجح — يواصلون القَبول بهذه النتيجة بناءً على حقيقة أن الأرض تبدو ساكنة بينما السماء هي التي تدور حولنا.

مع أننا لا نملك ضمانًا بأن مبدأ كوبرنيكوس يمكنه إرشادنا بشكل صائب في جميع أبحاثنا العلمية، فإنه يوفر ثقلًا موازنًا لنزعتنا الطبيعية إلى التفكير في أنفسنا بوصفنا متميزين. والأهم من ذلك أن هذا المبدأ له تاريخ حافل من النجاح إلى الآن، وهو ما يحثنا على التواضع في كل منحى: فالأرض ليست مركز المجموعة الشمسية، والمجموعة الشمسية ليست مركز مجرة درب التبانة، ودرب التبانة ليست مركز الكون. وحتى إذا آمنت بأن الحافة هي مكان متميز، فنحن لسنا على حافة أي شيء أيضًا. وعلى هذا يفترض التوجه المعاصر الحكيم أن الحياة على الأرض تتبع بالمثل مبدأ كوبرنيكوس. وفي هذه الحالة، كيف يمكن للحياة على الأرض — من حيث نشأتها ومكوناتها وبنيتها — أن تمدنا بأي دليل عن الحياة في الأماكن الأخرى من الكون؟

لمحاولة الإجابة عن هذا السؤال علينا استيعاب مجموعة مهولة من المعلومات البيولوجية. فمقابل كل نقطة بيانات كونية، جمعناها بعد مشاهدات طويلة لأجرام بعيدة للغاية عنا، نملك آلاف الحقائق البيولوجية. إن تنوع الحياة يصيبنا جميعًا — وبالأخص علماء الأحياء — بالرهبة كل يوم. فعلى كوكبنا الوحيد هذا تتعايش (ضمن

أشكال أخرى من الحياة) الطحالب والخنافس والإسفنج وقناديل البحر والثعابين ونسور الكوندور وأشجار الصنوبر العملاقة. تخيل أشكال الحياة السبعة هذه وهي مصطفة بعضها بجوار بعض بترتيب الحجم. وإذا لم تعرف بالفعل، فسيكون من العسير عليك التصديق بأنها جاءت جميعًا من الكون ذاته، ناهيك عن أنها من الكوكب ذاته. وإذا حاولت أن تصف ثعبانًا لشخص لم يسبق له رؤية ثعبان من قبل فستقول: «عليك أن تصدقني. لقد رأيت هذا الحيوان على كوكب وهو: (١) يطارد فريسته باستخدام كاشفات الأشعة تحت الحمراء. (٢) يبتلع حيوانات بأكملها يصل حجمها إلى خمسة أضعاف حجم رأسه. (٣) ليس له أذرع أو سيقان أو أي أطراف. (٤) ومع هذا يستطيع الانزلاق على الأرض بنفس السرعة التي يمكنك السير بها!»

على النقيض من التنوع المدهش للحياة على الأرض، فإن الرؤية القاصرة والإبداع المحدود لكتَّاب هوليوود الذين يتخيلون أشكال الحياة الأخرى يدعو للخجل. بالطبع سيلوم الكتاب العامة الذين يفضلون أشكال الكائنات والغزاة المألوفة على أشكال الحياة التي قد توجد خارج الأرض. وعدا استثناءات قليلة، على غرار أشكال الحياة التي ظهرت في فيلم «النقطة» (١٩٥٨) وفيلم ستانلي كوبريك «٢٠٠١: أوديسا الفضاء»، تشبه صور الحياة الآتية من خارج الكوكب التي تصورها هوليوود البشر. وبصرف النظر عن مدى قبحها (أو ظرفها) فجميعها تقريبًا له عينان وأنف وفم وأذنان ورأس ورقبة وأكتاف وأذرع وأيدٍ وأصابع وجذع وساقان وقدمان، وبإمكانها المشي. من وجهة النظر التشريحية هذه الكائنات لا تختلف عن البشر، ومع ذلك من المفترض أنها تعيش على كواكب أخرى، وأنها نتاج لخط مستقل من التطور. ومن النادر العثور على مثال أوضح من هذا على انتهاك مبدأ كوبرنيكوس.

يعد علم الأحياء الفلكية — والمعنيُّ بدراسة احتمالات ظهور الحياة خارج الأرض — من أكثر العلوم القائمة على التخمين، ومع ذلك يستطيع المتخصصون بهذا المجال التأكيد بثقة على أن الحياة في أي مكان آخر في الكون، سواء ذكية أو غير ذلك، ستبدو على قدر من الغرابة لا يقل عن غرابة بعض أشكال الحياة على الأرض، بل من المرجح أن تكون أكثر غرابة. حين نقيِّم فرص ظهور الحياة في الكون، علينا محاولة تحرير عقولنا من الأفكار التي غرستها هوليوود فيها. ليست هذه بمهمة سهلة، لكنها ضرورية إذا كنا نأمل في الوصول لتقديرات علمية، وليست عاطفية، بشأن فرص العثور على كائنات قد نحظى في يوم ما بحوار هادئ معها.

الفصل الخامس عشر

أصل الحياة على الأرض

يبدأ البحث عن الحياة في الكون بسؤال عميق هو: ما الحياة؟ سيخبرك علماء الأحياء الفلكية بأمانة أن هذا السؤال ليس له إجابة بسيطة أو مقبولة بوجه عام. ولن يفيد كثيرًا القول إننا نعرف الحياة حين نراها. فبصرف النظر عن السمات التي نحددها كي نفصل الكائنات الحية عن غير الحية على الأرض، يمكننا دومًا العثور على مثال يمحو هذا الفاصل أو يجعله غير واضح. فبعض الكائنات الحية، أو كلها، ينمو أو يتحرك أو يموت، لكن هذا يسري بالمثل على أشياء لا يمكننا وصفها بالحية إطلاقًا. هل تعيد الحياة إنتاج نفسها؟ الأمر عينه يحدث مع النار. هل تتضمن الحياة إنتاج أشكال جديدة؟ الأمر عينه تفعله بعض البلورات التي تنمو في المحاليل المائية. يمكننا بالقطع القول إنك تستطيع التعرف على بعض أشكال الحياة عند رؤيتها — فمن هذا الذي قد يفشل في رؤية الحياة في أسماك السلمون أو طيور العُقاب؟ — لكن أي شخص على ألفة بالحياة بأشكالها المتنوعة سيقرُّ بأن العديد من الكائنات ستظل غير مُكتشفة تمامًا حتى يتكفل الحظ الحسن ومهارة أحد الخبراء بالكشف عن طبيعتها الحية.

بما أن الحياة قصيرة، علينا الاعتماد على معيار فضفاض، ملائم عمومًا، للحياة. وها هو المعيار: الحياة تتكون من مجموعات من الأجسام القادرة على التكاثر والتطور. ولن ندعو أي مجموعة من الأشياء بالحية فقط لأنها تصنع المزيد من نفسها. فلكي تكون مؤهلة للحياة، عليها أيضًا أن تتطور إلى أشكال جديدة مع مرور الوقت. هذا التعريف إذن يزيل إمكانية الحكم على أي جسم منفرد بأنه حي. وبدلًا من ذلك علينا فحص نطاق من الأجسام في الفضاء وأن نتابعها مع مرور الوقت. قد يكون هذا التعريف للحياة مقيِّدًا، لكننا سنستخدمه في الوقت الحالي.

بينما فحص علماء الأحياء أشكال الحياة المختلفة على كوكبنا، اكتشفوا سمة عامة للحياة على الأرض. فالمادة الموجودة داخل كل كائن حي أرضي تتكون بالأساس من أربعة عناصر كيميائية فقط، وهي الهيدروجين والأكسجين والكربون والنيتروجين. أما بقية العناصر الأخرى فتشكل أقل من واحد بالمائة من كتلة الكائن الحي. وخلاف الأربعة عناصر الأساسية هناك كميات ضئيلة من الفسفور، الذي يعد أهم هذه العناصر والضروري وجوده في أغلب أشكال الحياة، إضافة إلى كميات أصغر من الكبريت والصوديوم والماغنسيوم والكلور والبوتاسيوم والكالسيوم والحديد.

لكن هل يمكننا أن نخلص إلى أن هذه التركيبة من العناصر للحياة على الأرض لا بد أن تنطبق على أشكال الحياة الأخرى في الكون؟ هنا يمكننا تطبيق مبدأ كوبرنيكوس بحذافيره. فالعناصر الأربعة التي تؤلف جسم الحياة على الأرض تظهر أيضًا في قائمة أكثر العناصر وفرة في الكون، هذه القائمة القصيرة المكونة من ستة عناصر. وبما أن العنصرين الآخرين على القائمة، وهما الهيليوم والنيون، لا يتَّحدان نهائيًّا بأي عنصر آخر — إلا فيما ندر — فالحياة على الأرض تتألف من أكثر العناصر وفرة وأكثرها نشاطًا من الناحية الكيميائية في الكون. ومن كل التنبؤات التي يمكننا عملها بشأن الحياة على الكواكب الأخرى، فإن أكثرها يقينًا هو أن الحياة هناك ستتكون من العناصر نفسها التي تستخدمها الحياة على الأرض. ولو كانت الحياة على كوكبنا تتكون بالأساس من أربعة عناصر نادرة للغاية في الكون، على غرار النيوبيوم والبيسموث والجاليوم والبلوتونيوم، لكان لدينا سبب قوي للاعتقاد بأننا نمثل حالة خاصة في الكون. لكن بدلًا من ذلك فالتركيب الكيميائي للحياة على كوكبنا يحثُّنا على التحلي بالتفاؤل بشأن إمكانية وجود حياة خارج كوكب الأرض.

تناسب تركيبة الحياة على الأرض مبدأ كوبرنيكوس بأكثر مما قد نظن بشكل مبدئي. فلو كنا نعيش على كوكب مكون بالأساس من الهيدروجين والأكسجين والكربون والنيتروجين، لما كانت حقيقة تكون الحياة من هذه العناصر الأربعة لتمثل أي مفاجأة لنا. لكن كوكب الأرض يتألف بالأساس من الأكسجين والسليكون والماغنسيوم، وطبقاته الخارجية تتكون في أغلبها من الأكسجين والسليكون والألومنيوم والحديد. واحد فقط من هذه العناصر، الأكسجين، يظهر على قائمة العناصر التي تتألف منها الحياة. وحين ننظر إلى محيطات الأرض، المكونة بالكامل تقريبًا من الأكسجين والهيدروجين، من المثير للدهشة أن الحياة بها تقوم على الكربون والنيتروجين، بدلًا من الكلور أو الصوديوم

أو الكبريت أو الكالسيوم أو البوتاسيوم، وهي أكثر العناصر القابلة للذوبان في الماء المالح. إن توزيع العناصر في الكائنات الحية على الأرض يشبه تركيبة النجوم أكثر بكثير من تركيبة الأرض نفسها. ونتيجة لذلك تتوافر العناصر المكونة للحياة في الكون أكثر من توافرها على الأرض، وهي بداية طيبة لمن يأملون في العثور على الحياة في مواضع متعددة.

فور التأكيد على حقيقة أن المادة الخام للحياة موجودة بوفرة في أرجاء الكون، يمكننا بعد ذلك التساؤل: كم مرة يؤدي وجود تلك العناصر — إلى جانب وجود مكان تتجمع عليه هذه المواد ومصدر للطاقة على غرار نجم قريب — إلى ظهور الحياة نفسها؟ في يوم ما، حين نكون قد أجرينا مسحًا جيدًا للأماكن الممكن ظهور الحياة فيها بالقرب من الشمس سنملك إجابة صحيحة من الناحية الإحصائية لهذا السؤال. لكن في غياب مثل هذه البيانات، علينا أن نسلك سبيلًا غير مباشر للإجابة وأن نتساءل: كيف بدأت الحياة على الأرض؟

لا يزال الغموض يكتنف نشأة الحياة على الأرض. وجهلنا ببداية الحياة على الأرض ينبع في أساسه من حقيقة أن الحدث الذي جعل المادة غير الحية تتحول لمادة حية — مهما كانت طبيعته — وقع منذ مليارات الأعوام ولم يخلِّف أي آثار يمكن تتبعها. فلا يوجد سجل حفري أو جيولوجي لتاريخ الأرض للفترة التي تسبق الأربعة مليارات عام الماضية. ومع هذا فالفترة في تاريخ المجموعة الشمسية بين ٤٫٦ و٤ مليارات عام مضت — أي أول ٦٠٠ مليون عام بعد تكون الشمس وكواكبها — تضم الفترة التي يؤمن أغلب علماء الحفريات القديمة — المتخصصين في إعادة بناء الحياة التي وجدت في حقب زالت منذ زمن بعيد — بأن الحياة ظهرت فيها على الكواكب.

يرجع غياب جميع الأدلة الجيولوجية من الحقب التي تزيد في العمر عن ٤ مليارات عام إلى حركة القشرة الأرضية، المعروفة عامة بالانجراف القاري وعلميًّا بتكتونيات الصفائح. فهذه الحركات، التي تسببها الحرارة الصاعدة من باطن الأرض، تجبر قطعًا من قشرة كوكبنا على الانزلاق أو التصادم أو الاحتكاك بعضها ببعض بشكل مستمر. وقد تسببت حركة تكتونيات الصفائح في الدفن البطيء لكل شيء كان موجودًا على سطح الأرض. ونتيجة لذلك، ليس لدينا سوى القليل من الصخور التي تزيد أعمارها عن ملياري عام، وليس لدينا أي صخور يزيد عمرها عن ٣٫٨ مليارات عام. هذه الحقيقة،

إضافة إلى الاستنتاج المنطقي بأن أغلب أشكال الحياة البدائية لم يكن لها سوى فرص ضئيلة في أن تُخلِّف وراءها أدلة من الحفريات، جعلت كوكبنا يخلو من أي سجل موثوق به للحياة خلال أول مليار أو ملياري عام من عمر الأرض. وأقدم دليل دامغ على وجود الحياة لا يرجع تاريخه إلا إلى ٢٫٧ مليار عام «فقط»، مع وجود إشارات غير مباشرة على وجود الحياة بما يسبق هذا التاريخ بنحو مليار عام.

يؤمن أغلب علماء الحفريات بأن الحياة ظهرت على الأرض منذ ما لا يقل عن ٣ مليارات عام، ومن الممكن أن تكون ظهرت بالفعل منذ ٤ مليارات عام، في خلال أول ٦٠٠ مليون عام بعد تكون كوكب الأرض. يستند استنتاجهم إلى افتراض منطقي بشأن الكائنات الأولية. فمنذ أقل من ٣ مليارات عام مضت بقليل بدأت كميات وفيرة من الأكسجين في الظهور في الغلاف الجوي للأرض. ونحن نعلم هذا من واقع السجل الجيولوجي للأرض بشكل مستقل عن أي بقايا للحفريات؛ فالأكسجين يعزز الصدأ البطيء للصخور الغنية بالحديد، وهو ما يسبب وجود درجات اللون الحمراء المحببة للصخور الموجودة في وادي جراند كانيون في أريزونا. أما الصخور التي يعود تاريخها لما قبل حقبة الأكسجين فلا تظهر عليها مثل هذه الألوان أو أي علامات أخرى لوجود عنصر الأكسجين.

مثَّل ظهور الأكسجين في الغلاف الجوي أعظم تلوث حدث على الإطلاق. فأكسجين الغلاف الجوي يفعل ما هو أكثر من الاتحاد بالحديد؛ إذ إنه يأخذ الطعام من أفواه الكائنات البدائية (مجازيًّا) من خلال الاتحاد بجميع الجزيئات البسيطة التي كان يمكن لأشكال الحياة الأولية التغذي عليها. ونتيجة لذلك، كان ظهور الأكسجين في الغلاف الجوي للأرض معناه أن جميع أشكال الحياة وجب عليها إما أن تتكيف معه أو أن تموت، وأنه لو لم تكن الحياة موجودة قبل هذا الوقت، لكان سيستحيل ظهورها بعده؛ لأن الكائنات التي ستظهر لم تكن لتجد أي شيء لتأكله؛ لأن غذاءها الأساسي قد صدأ بفعل الأكسجين. عمل التكيف التطوري على هذا التلوث بشكل طيب في حالات عدة، وهو ما تشهد عليه كل الحيوانات التي تتنفس الأكسجين. كما أن الاختباء من الأكسجين حقق النجاح ذاته. فإلى يومنا هذا تحتوي معدة كل حيوان — بما فيها الإنسان — على مليارات الكائنات التي تعيش في البيئة الخالية من الأكسجين التي نوفرها لها، ومن شأنها أن تموت لو تعرضت للهواء.

ما الذي جعل الغلاف الجوي للأرض غنيًّا نسبيًّا بالأكسجين؟ أغلب الأكسجين جاء من الكائنات الدقيقة الطافية في البحار، التي أطلقت الأكسجين كجزء من عملية التمثيل

الضوئي. يمكن أن يظهر الأكسجين حتى في غياب الحياة، وذلك حين تتسبب الأشعة فوق البنفسجية القادمة من ضوء الشمس في تكسير بعض جزيئات الماء H_2O على أسطح المحيطات، ومن ثم تنبعث ذرات الهيدروجين والأكسجين في الهواء. وأينما تعرض قدر كافٍ من الماء السائل على أي كوكب لضوء النجوم، فسيحصل الغلاف الجوي للكوكب على الأكسجين بالمثل، ببطء لكن بشكل مؤكد، على مدار مئات أو آلاف الملايين من الأعوام. وهناك أيضًا سيمنع أكسجين الغلاف الجوي الحياة من النشوء من خلال الاتحاد بكل المغذيات الممكنة التي تدعم الحياة. فالأكسجين يقتل! ومع أن هذا يخالف ما نقوله عادة عن العنصر الثامن على الجدول الدوري، فإنه في شتى أرجاء الكون يبدو هذا الحكم دقيقًا: فلا بد أن تبدأ الحياة في وقت مبكر من تاريخ الكوكب، وإلا سيتسبب ظهور الأكسجين في الغلاف الجوي في القضاء على الحياة إلى الأبد.

في مصادفة عجيبة، تضم هذه الفترة المفقودة من التاريخ الجيولوجي — التي ظهرت فيها الحياة — الفترة المسماة بفترة القصف أيضًا، التي تغطي بضع مئات الملايين من الأعوام التالية على تكون الأرض. إن كل جزء من سطح الأرض تعرَّض وقتها لسيل منهمر من الأجسام. فخلال الملايين الأولى من الأعوام ضربت أجسام ساقطة — في حجم ذلك الجسم الذي تسبب في «فوهة النيزك» في أريزونا — كوكبنا عدة مرات في كل قرن، إضافة إلى ارتطام أجسام أخرى أكبر بكثير، يمتد قطر الواحد منها أميالًا عديدة، بالأرض كل بضعة آلاف من الأعوام. وقد تسبب كل ارتطام كبير من هذه في إعادة تشكيل سطح الأرض، وبهذا من شأن مائة ألف ارتطام كهذا التسبب في تغيرات شاملة في طبوغرافيا كوكبنا.

كيف أثرت هذه الارتطامات على نشأة الحياة؟ يخبرنا علماء الأحياء بأنها ربما تكون قد تسببت في ظهور الحياة وفنائها على سطح الكوكب، ليس مرة واحدة، بل عدة مرات. إن أغلب المواد الساقطة على الأرض خلال فترة القصف تكونت في الأساس من المذنبات، التي هي في جوهرها كرات جليدية ضخمة محملة بصخور وأتربة دقيقة. وقد تكون «ثلج» المذنبات من الماء المتجمد وثاني أكسيد الكربون المتجمد، والمعروف بالثلج الجاف. وإلى جانب الثلج والرمال والصخور الغنية بالأملاح المعدنية والمعادن، احتوت المذنبات التي ضربت الأرض خلال مئات الملايين الأولى من الأعوام على العديد من الأنواع المختلفة من الجزيئات الصغيرة، مثل الميثان والنشادر والكحول الميثيلي وسيانيد الهيدروجين

والفورمالدهايد. هذه الجزيئات، إلى جانب الماء وأول وثاني أكسيد الكربون، تمثل المادة الخام للحياة. فجميعها تتكون من الهيدروجين والكربون والنيتروجين والأكسجين، وجميعها تمثل الخطوات الأولى في بناء الجزيئات المعقدة.

يبدو إذن أن انهمار المذنبات أمد الأرض ببعض الماء لمحيطاتها وبالمادة الخام التي يمكن أن تبدأ الحياة منها. ربما تكون الحياة نفسها قد وصلت الأرض في هذه المذنبات، مع أن حرارتها المنخفضة، التي تصل في المعتاد إلى مئات الدرجات الفهرنهايتية تحت الصفر، تمنع تكون الجزيئات المعقدة. لكن سواء وصلت الحياة إلى الأرض مع المذنبات أم لا، فمن المحتمل أن تكون الأجسام الكبرى التي ضربت الأرض خلال فترة القصف قد تسببت في تدمير الحياة التي ظهرت من قبل على الأرض. فربما تكون الحياة قد بدأت، على الأقل في أكثر صورها البدائية، بصورة متكررة، بحيث تعيش كل مجموعة جديدة من الكائنات مئات أو آلافًا أو حتى ملايين الأعوام، إلى أن ينشر اصطدام أحد الأجسام الكبيرة الدمار في الأرض مفنيًا صور الحياة كافة، ثم تظهر الحياة مجددًا، ثم تُدمَّر مجددًا بعد مرور فترة مشابهة من الوقت.

يمكننا الوثوق بقدر ما بفكرة النشوء المتكرر للحياة على الأرض من واقع حقيقتين راسختين؛ الأولى: هي أن الحياة ظهرت على كوكبنا في وقت مبكر من تاريخه وليس متأخرًا؛ أي خلال الثلث الأول من عمر الأرض. وإذا استطاعت الحياة — وهو ما حدث بالفعل — الظهور في المليار عام الأولى من عمر الأرض، فمن الممكن أن تفعل هذا في فترة أقل بكثير. فنشأة الحياة لا تحتاج أكثر من ملايين قليلة، أو بضع عشرات الملايين، من الأعوام. ثانيًا: نحن نعرف أن اصطدام الأجسام الكبيرة بالأرض، على فترات تقدر بعشرات الملايين من الأعوام، دمر أغلب أنواع الكائنات الحية على ظهر الكوكب. أشهر هذه الحوادث هو انقراض العصر الطباشيري الثلثي الذي وقع منذ ٦٥ مليون عام وأفنى جميع الديناصورات غير الطائرة، إلى جانب عدد كبير من الأنواع الأخرى. وحتى حادث الانقراض هذا لم يصل في قوته إلى حادث انقراض العصر البرمي الترياسي الشامل الذي وقع منذ ٢٥٢ مليون عام، وتسبب في فناء حوالي ٩٠ بالمائة من جميع أنواع الكائنات البحرية و٧٠ بالمائة من جميع أنواع الكائنات الفقارية الأرضية، ولم تنج منه سوى الفطريات التي صارت الشكل المهيمن للحياة على الأرض.

نتج حادثا انقراض العصر الطباشيري الثلثي والعصر البرمي الترياسي الشاملين عن اصطدام نيزكين يصل قطرهما من عشرة إلى عشرين ميلًا بالأرض. وقد عثر علماء

الجيولوجيا على فوهة اصطدام هائلة عمرها ٦٥ مليون عام، تتوافق مع الوقت الذي وقع فيه انقراض العصر الطباشيري الثلثي، وتمتد عبر شمال شبه جزيرة يوكاتان وقاع البحر المتاخم لها. كما اكتُشفت فوهة أكبر منها يتوافق عمرها مع انقراض العصر البرمي الترياسي بالقرب من الساحل الشمالي الغربي لأستراليا، لكن هذا الموت الشامل ربما نتج عن شيء آخر إلى جانب الاصطدام؛ انفجارات بركانية متواصلة مثلًا. وحتى المثال الوحيد لانقراض الديناصورات في العصر الطباشيري الثلثي يذكرنا بالضرر العظيم على الحياة الذي يمكن لمذنب أو كويكب أن يتسبب فيه. وأثناء فترة القصف من المؤكد أن الأرض لم تترنح بفعل هذا النوع من التصادمات وحسب، بل أيضًا من التأثيرات الأخطر بكثير لاصطدام أجسام تصل أقطارها إلى ٥٠ و١٠٠ — بل وحتى ٢٥٠ ميلًا — بالأرض. ومن المؤكد أن كل واحد من هذه التصادمات تسبب في القضاء على الحياة، إما بشكل تام أو بشكل كبير، حتى إن نسبة بسيطة للغاية من الكائنات هي التي تمكَّنت من البقاء حية، ومن المؤكد أن هذه التصادمات حدثت بتواتر أعلى من تصادمات الأجسام البالغ قطرها عشرة أميال اليوم. إن معرفتنا الحالية بعلم الفلك والأحياء والكيمياء والجيولوجيا تشير إلى أن الأرض في بداياتها كانت مستعدة لإنتاج الحياة، بينما كانت البيئة الكونية المحيطة بها مستعدة للقضاء على هذه الحياة. وفي أي مكان تكون فيه نجم وكواكبه حديثًا، فقد يتسبب القصف العنيف للحطام المتخلف عن عملية التكون في محو جميع أشكال الحياة على تلك الكواكب.

منذ أكثر من ٤ مليارات عام ارتطم الجزء الأكبر من الحطام المتخلف عن عملية تكون المجموعة الشمسية بالكواكب أو تحرك إلى مدارات لا تحدث فيها أي تصادمات. ونتيجة لذلك تغيرت المنطقة المجاورة لكوكبنا تدريجيًّا من منطقة قصف متوالٍ إلى السكون العام الذي نستمتع به اليوم، والذي يقطعه فقط، على فترات تقدر بملايين عديدة من الأعوام، حوادث اصطدام بأجسام كبيرة بما يكفي لتهديد الحياة على الأرض. وبإمكانك مقارنة تهديد التصادمات في الماضي البعيد واليوم كلما نظرت إلى القمر المكتمل. فسهول الحمم العملاقة التي تشكل وجه القمر وتجعله يشبه وجه الإنسان هي نتيجة للتصادمات المروعة التي وقعت منذ حوالي ٤ مليارات عام، مع نهاية فترة القصف، بينما الفوهة المسماة تايكو، والبالغ عرضها خمسة وخمسين ميلًا، نتجت عن اصطدام أصغر، لكن مؤثر للغاية، وقع بعد انقراض الديناصورات من سطح الأرض مباشرة.

إننا لا نعرف هل ظهرت الحياة منذ ٤ مليارات عام، واستمرت بالرغم من عاصفة التصادمات المبكرة، أم أنها ظهرت فقط بعد أن سادت فترة من الهدوء النسبي. هذان السيناريوهان يضمان احتمالية أن تكون الأجسام الساقطة هي التي حملت معها بذرة الحياة إلى الأرض، سواء في فترة القصف أو بعدها بوقت وجيز. إذا بدأت الحياة وانتهت بشكل متكرر بينما تسببت الأجسام الساقطة من السماء في إشاعة الفوضى، فلا بد أن العمليات التي تسببت في نشأتها عمليات نشطة، وعلى هذا يمكننا أن نتوقع حدوث هذه العمليات مرارًا وتكرارًا في عوالم أخرى مشابهة لعالمنا. ومن ناحية أخرى، إذا نشأت الحياة على الأرض مرة واحدة فحسب، إما من الأرض نفسها أو جاءت بذرتها من الكون، فربما تكون هذه النشأة قد حدثت بمحض الصدفة.

في كلتا الحالتين السؤال الحاسم بشأن الكيفية التي بدأت بها الحياة على الأرض، سواء مرة واحدة أو عدة مرات، ليس له إجابة وافية، مع أن التخمينات بشأن هذا الموضوع لها تاريخ طويل ومثير للاهتمام. وتنتظر مَن يستطيعون حل هذا اللغز مكاسب عظيمة. وعلى مر التاريخ، من ضلع آدم إلى وحش فرانكنشتاين، أجاب البشر عن هذا السؤال من خلال الاستعانة بفكرة قوة الحياة الغامضة التي تبث الحياة في الجماد.

يسعى العلماء لتقصي الأمر بشكل أعمق، من خلال التجارب المعملية وفحوص السجل الحفري، في محاولة لتحديد ارتفاع الحاجز الفاصل بين المادة غير الحية والحية، وأيضًا لمعرفة كيف اجتازت الطبيعة هذا الحاجز. تصورت المناقشات العلمية المبكرة عن نشأة الحياة وجود تفاعل بين الجزيئات البسيطة، المركزة في أحواض أو برك المد، من أجل تخليق الجزيئات الأكثر تعقيدًا. وفي عام ١٨٧١، بعد اثني عشر عامًا من نشر كتاب تشارلز داروين الرائع «أصل الأنواع»، الذي خمن فيه أن «كل الكائنات العضوية التي عاشت على سطح الأرض انحدرت على الأرجح من شكل بدائي وحيد»، كتب داروين إلى صديقه جوزيف هوكر قائلًا:

> يقال كثيرًا إن جميع الظروف المطلوبة للإنتاج الأولي لكائن حي متوافرة الآن، وظلت كذلك على الدوام. لكن لو (ويا لها من لو كبيرة!) أمكننا تصور وجود بركة صغيرة دافئة تتوافر بها كافة أنواع النشادر وأملاح الفسفور والضوء والحرارة والكهرباء، إلخ، بحيث تكوِّن مركبًا بروتينيًّا كيميائيًّا يكون مستعدًّا للمرور بالمزيد من التغيرات الأكثر تعقيدًا، ففي يومنا هذا سيُمتَص مثل هذا المركب على الفور، وهو ما لم يكن ليحدث قبل وجود الكائنات الحية.

بعبارة أخرى، حين كانت الأرض جاهزة للحياة، ربما كانت المركبات الأساسية الضرورية لعملية التمثيل الغذائي موجودة بوفرة، دون وجود ما يلتهمها (وكما ناقشنا لم يوجد أي أكسجين ليتَّحد معها ويفسد فرصها في القيام بوظيفتها كطعام).

من المنظور العلمي لا شيء ينجح كالتجارب التي يمكن مقارنتها بالواقع. وفي عام ١٩٥٣، سعيًا لاختبار فكرة داروين عن نشوء الحياة في برك أو أحواض المد، أجرى ستانلي ميلر، الذي كان وقتها طالب دراسات عليا يعمل بجامعة شيكاغو مع الحاصل على جائزة نوبل هارولد يوري، تجربة شهيرة تحاكي الظروف الموجودة داخل بركة مياه افتراضية مبسطة للغاية موجودة على كوكب الأرض المبكر. ملأ ميلر ويوري قارورة مختبر بالماء جزئيًّا، ثم وضعا أعلى هذا الماء مزيجًا غازيًّا من بخار الماء والهيدروجين والنشادر والميثان. ثم سخنا القارورة من الأسفل، بحيث تبخَّر جزء من محتواها واندفع عبر أنبوب زجاجي طويل نحو قارورة أخرى، حيث حاكت شحنات كهربية تأثير البرق. ومن هناك عاد المزيج مجددًا إلى القارورة الأصلية، في دورة تتكرر مرارًا على مدار بضعة أيام، عوضًا عن بضعة آلاف من الأعوام. وبعد هذه الفترة الزمنية المتواضعة للغاية وجد ميلر ويوري أن الماء في القارورة الدنيا صار غنيًّا بـ «مادة لزجة عضوية» هي مركب من جزيئات عديدة معقدة، من بينها أنواع مختلفة من السكر، إضافة إلى اثنين من أبسط الأحماض الأمينية، الألانين والجوانين.

بما أن جزيئات البروتين تتكون من عشرين نوعًا من الأحماض الأمينية مرتبة في أشكال بنيوية متباينة، تقطع تجربة ميلر-يوري، في غضون وقت وجيز للغاية، شوطًا طويلًا على الطريق من أبسط الجزيئات حتى جزيئات الحمض الأميني التي تشكل الوحدات البنائية للكائنات الحية. كما نجحت تجربة ميلر-يوري في تكوين بعض الجزيئات المعقدة نسبيًّا المسماة بالنيوكليوتيدات، التي تعد العنصر الأساسي المكون لجزيء الحمض النووي؛ ذلك الجزيء العملاق الذي يحمل تعليمات تكوين نسخ جديدة من الكائن. ومع هذا لا يزال الطريق طويلًا حتى تنشأ الحياة من المختبرات التجريبية. فثمة صدع كبير للغاية، لم ترأبه تجارب الإنسان ولا اختراعاته، يفصل بين تكوين الأحماض الأمينية — حتى لو أنتجت تجاربنا جميع الأحماض العشرين، وهو ما لم يحدث — وبين الحياة نفسها. لقد وُجدت جزيئات الحمض الأميني في بعض من أقدم النيازك وأقلها تغيرًا، والمُعتقد أنها ظلت دون تغير قرابة الـ ٤٫٦ مليارات عام التي تشكل تاريخ المجموعة الشمسية. يدعم هذا الافتراض العام القائل إن العمليات الطبيعية

يمكنها إنتاج الأحماض الأمينية في مواقف متباينة كثيرة. إن النظرة المتوازنة للنتائج التجريبية ترى أنه لا يوجد ما يدعو إلى المفاجأة؛ فأبسط الجزيئات الموجودة في الكائنات الحية تتكون بسرعة في مواقف عديدة، لكن هذا لا ينطبق على الحياة. وبهذا يظل السؤال المحوري هو: كيف يمكن لمجموعة من الجزيئات — حتى تلك التي تقوم عليها الحياة — أن تولد الحياة نفسها؟

بما أن الأرض في بداياتها لم تُتح لها أسابيع بل ملايين عدة من الأعوام كي تنتج الحياة، يبدو أن نتائج تجربة ميلر-يوري تدعم نموذج برك المد الخاص ببداية الحياة. لكن في الوقت الحالي يرى أغلب العلماء الساعين لتفسير نشأة الحياة أن هذه التجربة كانت قاصرة للغاية في أساليبها. وقد نتج تغير وجهة نظرهم ليس من الشك في نتائج التجربة، بل من إدراكهم لخطأ محتمل في الفرضية التي تقوم عليها التجربة من الأساس. ولتفهم هذا الخطأ علينا التمعن فيما أوضحه لنا علم الأحياء بخصوص أقدم أشكال الحياة.

يعتمد علم الأحياء التطوري في وقتنا الحالي على الدراسة الحريصة لأوجه الشبه والاختلاف بين الكائنات الحية في جزيئات كل من الحمض النووي الريبي منزوع الأكسجين، الدنا، والحمض النووي الريبي، الرنا، اللذين يحملان المعلومات التي تخبر الكائن الحي بالكيفية التي يعيش ويتكاثر بها. وقد مكَّنت المقارنة الحريصة لهذين الجزيئين المعقدين الضخمين إلى حدٍّ بعيد علماء الأحياء، ومن بينهم الرائد العظيم في هذا المجال كارل وويس، من تكوين شجرة تطورية للحياة تسجل «المسافات التطورية» بين أشكال الحياة المختلفة، والمحددة من خلال مقدار عدم التطابق بين هذه الكائنات من حيث جزيئي الدنا والرنا.

تتألف شجرة الحياة من ثلاثة فروع عظيمة؛ العتائق والبكتيريا وحقيقيات النوى، وهي تحل محل «الممالك» البيولوجية التي كان يُعتقد في الماضي أنها التقسيمات الجوهرية. تضم حقيقيات النوى جميع الكائنات التي تملك خلاياها مركزًا محددًا أو نواة تحتوي على المادة الوراثية التي تنظم تكاثر هذه الخلية. هذه السمة تجعل حقيقيات النوى أكثر تعقيدًا من النوعين الآخرين بكثير، وفي الواقع كل أشكال الحياة المألوفة للعين غير الخبيرة تندرج تحت هذا الفرع. بوسعنا أن نستنتج منطقيًّا أن حقيقيات النوى ظهرت بعد العتائق أو البكتيريا. ولأن البكتيريا تبعد عن بداية شجرة الحياة أكثر من العتائق

— لسبب بسيط هو أن دنا ورنا البكتيريا قد تغير أكثر — تمثل العتائق، كما يوحي اسمها، أقدم أشكال الحياة. وهنا تظهر المفاجأة: فعلى العكس من البكتيريا وحقيقيات النوى تتكون العتائق بالأساس من «كائنات البيئات المتطرفة»، التي تحب أن تعيش فيما نطلق عليه الظروف المتطرفة: أي درجات الحرارة القريبة من درجة غليان الماء أو أعلى منها، أو درجة الحمضية العالية، أو المواقف الأخرى التي من شأنها القضاء على أي شكل آخر من أشكال الحياة. (بطبيعة الحال لو كان لدى كائنات البيئات المتطرفة علماء أحياء، كانوا سيعتبرون أنفسهم في وضع طبيعي ويعتبرون الكائنات التي تعيش في درجة حرارة الغرفة كائنات البيئات المتطرفة.) تميل الأبحاث الحديثة على شجرة الحياة إلى القول إن الحياة بدأت بكائنات البيئات المتطرفة، ثم بعد ذلك تطورت إلى أشكال الحياة التي تستفيد مما نطلق عليه الظروف الطبيعية.

في هذه الحالة لن تتجاوز فكرة داروين عن «البرك الصغيرة الدافئة» أو أحواض المد التي حاكتها تجربة ميلر-يوري مكانة الفرضيات المرفوضة. والأمر عينه ينطبق على الدورات المعتدلة من الجفاف والبلل. وبدلًا من ذلك فإن من يسعون للعثور على الأماكن التي بدأت فيها الحياة سيتعيَّن عليهم البحث عن الأماكن التي يخرج منها الماء شديد السخونة، والمشبع ربما بالأحماض، من باطن الأرض.

خلال العقود القليلة الماضية تمكَّن علماء المحيطات من اكتشاف مثل هذه الأماكن، إلى جانب اكتشاف أشكال الحياة العجيبة التي تدعمها. ففي عام ١٩٧٧ اكتشف اثنان من علماء المحيطات أثناء توجيههم لغواصة في أعماق المحيط أول الشقوق الحرارية العميقة، والممتدة مسافة ميل ونصف الميل تحت السطح الهادئ للمحيط الهادي بالقرب من جزر جالاباجوس. في هذه الشقوق تتصرف القشرة الأرضية على نحو أشبه بالموقد المنزلي الذي يولد ضغطًا شديدًا داخل القدر شديد التحمل ذي الغطاء المقفل، فيسخن الماء لدرجات حرارة تتجاوز درجة الغليان الطبيعية دون السماح له بالغليان فعلًا. ومع رفع الغطاء بشكل جزئي يندفع الماء الساخن المضغوط من أسفل القشرة الأرضية داخل حوض المحيط البارد.

يحمل الماء شديد السخونة المندفع من هذه الشقوق أملاحًا معدنية ذائبة سرعان ما تتجمع وتتصلب بحيث تحيط الشقوق بمداخن عملاقة مسامية، تبلغ ذروة حرارتها عند المركز وذروة البرودة عند الأطراف حيث يكون الاتصال المباشر بماء المحيط. وعلى امتداد درجات الحرارة المتدرجة تعيش أشكال لا حصر لها من الحياة لم يسبق لها أن

رأت الشمس ولا تهتم البتة بالحرارة الآتية من الشمس، مع احتياجها للأكسجين الذائب في مياه البحر، الذي بدوره يأتي نتيجة وجود حياة قائمة على الشمس على السطح. هذه الجراثيم شديدة التحمل تعيش على الطاقة الحرارية القادمة من باطن الأرض، التي تمزج الحرارة المتخلفة عن عملية تكون الأرض مع الحرارة المنتجة على نحو متواصل بفعل التحلل الإشعاعي للنظائر غير المستقرة مثل الألومنيوم-٢٦، الذي يستمر لملايين الأعوام، والبوتاسيوم-٤٠، الذي يستمر مليارات الأعوام.

قرب هذه الشقوق، في أقصى الأعماق التي لا يستطيع ضوء الشمس اختراقها، وجد علماء المحيطات ديدانًا أنبوبية يصل طولها إلى طول الإنسان، تعيش وسط مستعمرات كبيرة من البكتيريا والكائنات الأخرى الصغيرة. إن الحياة قرب الشقوق البحرية العميقة لا تعتمد في الحصول على طاقتها على ضوء الشمس، كما تفعل النباتات في عملية التمثيل الضوئي، بل تعتمد على «التمثيل الكيميائي»، بمعنى إنتاج الطاقة من التفاعلات الكيميائية، التي تعتمد بدورها على الحرارة الآتية من باطن الأرض.

كيف يحدث التمثيل الكيميائي؟ الماء الساخن المندفع من الشقوق البحرية العميقة يخرج مشبعًا بمركبات الهيدروجين-الكبريت والهيدروجين-الحديد. تربط البكتيريا الموجودة قرب الشقوق هذه الجزيئات بذرات الهيدروجين والأكسجين الموجودة في جزيئات الماء، وبذرات الكربون والأكسجين الموجودة في جزيئات ثاني أكسيد الكربون الذائبة في الماء. هذه التفاعلات تكوِّن جزيئات أكبر — كربوهيدرات — من ذرات الكربون والأكسجين والهيدروجين. وبهذا تحاكي البكتيريا الموجودة قرب الشقوق البحرية نشاط بنات عمومتها بالأعلى، التي تصنع الكربوهيدرات بالمثل من الكربون والأكسجين والهيدروجين. فأحد الفريقين يستخدم طاقة ضوء الشمس لتصنيع الكربوهيدرات، بينما يعتمد الفريق الآخر على التفاعلات الكيميائية في أعماق المحيطات. وبالقرب من الشقوق البحرية العميقة تستهلك كائنات أخرى البكتيريا المصنعة للكربوهيدرات، بحيث تستفيد من طاقتها بالطريقة ذاتها التي تتغذى بها الحيوانات على النباتات أو على الحيوانات الأخرى التي تغذت بدورها على النباتات.

في التفاعلات الكيميائية بالقرب من الشقوق البحرية العميقة يحدث ما هو أكثر من إنتاج جزيئات الكربوهيدرات وحسب. فذرات الحديد والكبريت، التي لا تضمها جزيئات الكربوهيدرات، تتحد لتكون مركبات خاصة بها، أبرزها بلورات بيريت الحديد (ثاني كبريتيد الحديد)، الشهير بـ «ذهب الحمقى»، المعروف لدى الإغريق باسم «حجر النار»؛

لأن أي ضربة قوية من صخرة أخرى عليه كفيلة بإنتاج شرارات منه. ربما يكون بيريت الحديد — وهو أكثر الأملاح المعدنية الحاملة لعنصر الكبريت على الأرض — قد لعب دورًا محوريًّا في ظهور الحياة، وذلك من خلال التشجيع على تكوين جزيئات شبيهة بالكربوهيدرات. هذه الفرضية تولَّدت عن قريحة موظف براءات الاختراع الألماني وعالم الأحياء الهاوي جونتر فاخترشاوسر، الذي لم تمنعه وظيفته من وضع الفرضيات عن علم الأحياء، تمامًا كما لم تمنع الوظيفة عينها أينشتاين من تقديم رؤاه عن الفيزياء. (إحقاقًا للحق، كان أينشتاين يحمل درجة جامعية في الفيزياء، بينما تعلم فاخترشاوسر الأحياء والكيمياء ذاتيًّا.)

في عام ١٩٩٤ اقترح فاخترشاوسر أن أسطح بلورات بيريت الحديد، المتكونة بشكل طبيعي من خلال اتحاد الحديد بالكبريت اللذين اندفعا من الشقوق البحرية العميقة في وقت مبكر من تاريخ الأرض، ستوفر مواقع طبيعية يمكن فيها للجزيئات الغنية بالكربون أن تتراكم، وأن تكتسب المزيد من ذرات الكربون من المواد المندفعة من الشقوق القريبة. ومثل من يفترضون أن الحياة بدأت في بحيرات أو برك المد، لم يكن لدى فاخترشاوسر أي سبيل واضح للمضي قدمًا من الوحدات البنائية للكائنات الحية. ومع هذا، في ظل تأكيده على بداية الحياة ذات الحرارة المرتفعة، قد يتمكن من إثبات أنه يسير على الطريق السليم، وهو ما يؤمن به من أعماقه. وقد واجه فاخترشاوسر منتقديه في المؤتمرات العلمية — مشيرًا إلى البنية عالية التنظيم لبلورات بيريت الحديد، التي ربما تكونت على أسطحها أولى جزيئات الحياة المعقدة — بعبارته الصادمة: «يقول البعض إن نشأة الحياة تأتي بالنظام من الفوضى، لكني أقول إنها تأتي بـ «نظام من نظام من نظام»!» إن هذا الزعم، الذي ألقاه بقوة اللغة الألمانية، يلقى ترحيبًا نسبيًّا، لكن الوقت وحده هو ما سيحدد مدى صحته.

إذن، أي نموذج لنشأة الحياة من المرجح أن تثبت صحته، أحواض المد على شواطئ المحيطات أم الشقوق الحارة في قيعان المحيطات؟ إلى الآن تبدو النتيجة متعادلة. عارض الخبراء بنشأة الحياة القول إن أقدم أشكال الحياة كانت تعيش في درجات حرارة عالية؛ لأن الطرق الحالية لوضع الكائنات الحية في مواضع مختلفة على امتداد شجرة الحياة لا تزال محل جدال. إضافة إلى ذلك، فالبرامج الحاسوبية المصممة لتعقب عدد المركبات من الأنواع المختلفة التي وجدت في جزيئات الرنا القديمة، بنات عمومة الدنا التي سبقت الدنا في تاريخ الحياة على ما يبدو، تقترح أن المركبات التي تدعم درجات الحرارة العالية ظهرت فقط بعد أن كانت الحياة قد مرت بتاريخ وجيز من درجات الحرارة المنخفضة.

وبهذا تكون نتيجة أدق أبحاثنا، كما يحدث دومًا في العلم، مقلقة لكثير ممن يسعون لليقين. ومع أنه يمكننا أن نحدد بالتقريب متى بدأت الحياة على الأرض، فإننا لا نعرف أين أو كيف حدث مثل هذا الحدث الإعجازي. حديثًا منح علماء الحفريات ذلك السلف المراوغ للحياة على الأرض الاسم «لوكا»، وهو اختصار لمصطلح إنجليزي بمعنى «السلف المشترك الكوني الأخير». (انظر كيف تظل عقول العلماء مثبتة على كوكبنا: كان حريًّا بهم أن يسموه «ليكا»، اختصارًا لمصطلح «السلف المشترك الأرضي الأخير».) لكن في الوقت الحالي تؤكد تسمية هذا السلف — مجموعة من الكائنات البدائية المشتركة في الجينات نفسها — على المسافة التي علينا أن نقطعها حتى نزيح النقاب الذي يفصلنا عن فهم بداية الحياة.

يعتمد ما هو أكثر من مجرد فضولنا الطبيعي حيال أصلنا على حل هذه القضية. فالبدايات المتباينة للحياة تعني وجود احتمالات متعددة لظهور الحياة وتطورها واستمرارها، سواء أهنا أم في أي مكان آخر بالكون. على سبيل المثال، قد تمثل قيعان المحيطات أكثر الأنظمة البيئية استقرارًا على الكوكب. وإذا ارتطم كويكب عملاق بالأرض وأفنى كل أشكال الحياة على سطحها، من المؤكد استمرار كائنات البيئات المتطرفة التي تعيش بالمحيط في الحياة دون تأثر. بل ربما تتطور وتعيد إعمار سطح الأرض بعد كل حادثة إفناء. وإذا انتُزعت الشمس بصورة غامضة من مركز المجموعة الشمسية وهامت الأرض في أنحاء الفضاء، فلن يسترعي هذا الحدث أدنى درجات اهتمام كائنات البيئات المتطرفة؛ لأن الحياة قرب الشقوق البحرية العميقة قد تستطيع الاستمرار على حالها في هدوء. لكن بعد ٥ مليارات عام، ستصير الشمس عملاقًا أحمر، وستتمدد لتملأ النطاق الداخلي للمجموعة الشمسية. في الوقت ذاته ستغلي محيطات الأرض حتى تتبخر وحتى الأرض نفسها ستتبخر بشكل جزئي. وهذا من شأنه التأثير على أي شكل من أشكال الحياة الأرضية.

إن الوجود الشامل لكائنات البيئات المتطرفة على الأرض يقودنا إلى سؤال جوهري: هل يمكن أن توجد حياة في أعماق كثير من الكواكب الشريدة أو الكواكب المصغرة التي لفظتها المجموعة الشمسية إبان تكونها؟ باستطاعة مخزون حرارتها «الأرضية» الصمود مليارات الأعوام. وماذا عن الكواكب التي لا تحصى والتي لفظتها المجموعات الشمسية الأخرى لدى تكونها؟ هل يمكن للفضاء النجمي أن يحفل بالحياة التي تشكلت

وتطورت في أعماق هذه الكواكب عديمة الشموس؟ قبل أن يقر الفيزيائيون الفلكيون بأهمية كائنات البيئات المتطرفة كانوا يتصورون وجود «منطقة صالحة للسكنى» حول كل نجم، يوجد داخلها الماء أو مادة أخرى تستطيع الحفاظ على نفسها في حالة سائلة، تمكن الجزيئات من أن تطفو وتتفاعل وتنتج المزيد من الجزيئات المعقدة. واليوم، علينا تعديل هذا المفهوم؛ لأن المنطقة الصالحة للسكنى لم تعد قاصرة على تلك المنطقة المنمقة المحيطة بالنجم وتتلقى منه المقدار المناسب من الضوء، بل يمكن أن تكون في أي مكان وكل مكان، ولا تعتمد على الحرارة الآتية من ضوء النجم، بل الحرارة الآتية من مصادر موضعية، التي تتولد عادة من الصخور المشعة. ربما إذن لم يكن كوخ الدببة الثلاث بالمكان المتميز في القصص الخيالية، وإن أي مكان للسكنى، حتى لو كان منزل أحد الخنازير الثلاثة، ربما كان يحتوي على وعاء الطعام المناسب في درجة الحرارة المناسبة.

يا لها من قصة خيالية مليئة بالأمل والبصيرة. فالحياة، قد تكون شائعة بنفس درجة شيوع الكواكب ذاتها، وليست نادرة أو نفيسة على الإطلاق. وكل ما علينا هو أن نعثر عليها.

الفصل السادس عشر

البحث عن الحياة في المجموعة الشمسية

أوجدت إمكانية وجود حياة خارج كوكب الأرض ألقابًا وظيفية جديدة، تنطبق فقط على عدد قليل من الأفراد لكنها قابلة للنمو بصورة مفاجئة. فالمتخصصون في «علم الأحياء الفلكية» أو «علم الفلك الأحيائي» يتعاملون مع القضايا المتعلقة بفكرة وجود حياة خارج كوكب الأرض، بصرف النظر عن الشكل الذي عليه تلك الحياة. وفي الوقت الحالي ليس بوسع علماء الأحياء الفلكية سوى التخمين بشأن الحياة خارج الأرض أو محاكاة الظروف الموجودة خارج الأرض، ثم إما تعريض أشكال الحياة الأرضية لها، واختبار كيف تستطيع تحمل هذه المواقف القاسية غير المألوفة، أو تعريض مزيج من الجزيئات غير الحية لها، على نحو شبيه بما حدث في تجربة ميلر-يوري الكلاسيكية أو أبحاث فاخترشاوسر. وقد أوصلنا هذا المزيج من التخمين والتجريب إلى عدد من النتائج المقبولة بشكل عام، التي — إلى الحد الذي تصف به الكون الفعلي — لها تداعيات مهمة للغاية. والآن يؤمن علماء الأحياء الفلكية أن وجود الحياة في أرجاء الكون يتطلب:

(١) مصدرًا للطاقة.
(٢) نوعًا من الذرات يسمح بوجود بُنى معقدة.
(٣) محلولًا سائلًا تستطيع الجزيئات أن تطفو فيه ويتفاعل بعضها مع بعض.
(٤) وقتًا كافيًا كي تنشأ الحياة وتتطور.

في هذه القائمة القصيرة يعد المتطلبان الأول والرابع أيسر الموانع في طريق نشوء الحياة. فكل نجم في الكون يوفر مصدرًا للطاقة، وجميع النجوم، عدا أضخمها، التي لا تتجاوز نسبتها الواحد بالمائة، تعيش مئات ملايين — وربما مليارات — الأعوام. فشمسنا، على سبيل المثال، أمدت الأرض بإمداد ثابت من الحرارة والضوء على مر الخمسة مليارات

عام الماضية، وستستمر في عمل هذا خمسة مليارات عام قادمة. إضافة إلى ذلك ندرك الآن أن الحياة يمكنها التواجد بشكل كلي دون الحاجة لضوء الشمس، وذلك بأن تحصل على الطاقة من الحرارة المنبعثة من باطن الأرض والتفاعلات الكيميائية. إن الحرارة المنبعثة من باطن الأرض تنشأ في جزء منها بسبب النشاط الإشعاعي لنظائر عناصر مثل البوتاسيوم والثورميوم واليورانيوم، التي تتحلل على مدى فترات زمنية تقدر بمليارات الأعوام، وهو مدى زمني يقارب عمر النجوم الشبيهة بشمسنا.

على الأرض، تفي الأرض بالمتطلب الثاني، الخاص بالحاجة لذرة تسمح بوجود بُنى معقدة، وذلك من خلال عنصر الكربون. فذرات الكربون يمكنها الارتباط بذرة أو ذرتين أو ثلاث أو أربع ذرات أخرى، وهو ما يجعلها العنصر الجوهري في بنية جميع صور الحياة التي نعرفها. وعلى النقيض من ذلك ليس بوسع ذرة الهيدروجين الارتباط إلا بذرة أخرى وحيدة، بينما لا يرتبط الأكسجين إلا بذرة واحدة أو اثنتين. ولأن ذرات الكربون قادرة على الارتباط بما يصل إلى أربع ذرات أخرى، فهي تشكل «العمود الفقري» لجميع الجزيئات، عدا البسيطة، الموجودة داخل الكائنات الحية، كالبروتينات والسكريات.

إن قدرة الكربون على تكوين جزيئات معقدة جعلت منه أحد العناصر الأربعة الأكثر وفرة في جميع أشكال الحياة على الأرض، إلى جانب الهيدروجين والأكسجين والنيتروجين. وقد رأينا أنه على الرغم من أن العناصر الأربعة الأكثر وفرة في القشرة الأرضية لا تشترك مع هذه العناصر إلا في عنصر وحيد، فإن العناصر الستة الأكثر وفرة في الكون تتضمن العناصر الأربعة الأكثر وفرة في الحياة الأرضية، إلى جانب الغازين الخاملين الهيليوم والنيون. هذه الحقيقة تدعم الفرضية القائلة إن الحياة على الأرض بدأت داخل النجوم، أو في أجسام تشبه تركيبتها تركيبة النجوم. وعلى أي حال، تشهد حقيقة أن الكربون يشكل نسبة بسيطة من سطح الأرض، وفي الوقت نفسه يشكل حصة كبيرة من أي كائن حي، على الدور المحوري للكربون في إضفاء البنية على الحياة.

هل الكربون عنصر أساسي للحياة في أرجاء الكون؟ ماذا عن عنصر السليكون، الذي كثيرًا ما يظهر في روايات الخيال العلمي كذرة بنيوية أساسية لأشكال الحياة العجيبة؟ ترتبط ذرات السليكون — مثل ذرات الكربون — بما يصل إلى أربع ذرات أخرى، لكن طبيعة هذه الروابط تضعف فرصة السليكون في أن يوفر الأساس البنيوي للجزيئات المعقدة. فالكربون يرتبط بروابط ضعيفة نوعًا ما مع العناصر الأخرى، وبهذا

تتكسر الروابط بين الكربون والأكسجين، والكربون والهيدروجين، والكربون والكربون، مثلًا، بسهولة نسبية. يمكن هذا الجزيئات القائمة على الكربون من تكوين أنواع جديدة بينما تتصادم وتتفاعل بعضها مع بعض، وهو جزء أساسي من نشاط الأيض الخاص بأي شكل من أشكال الحياة. وعلى العكس، يرتبط السليكون بقوة مع أنوع عديدة من الذرات الأخرى، وبالأخص الأكسجين. إن القشرة الأرضية تتكون في أغلبها من صخور السليكات، المكونة بالأساس من ذرات السليكون والأكسجين، والمترابطة بقوة كافية للاستمرار ملايين الأعوام، ومن ثم هي غير قادرة على المشاركة في تكوين أنواع جديدة من الجزيئات.

إن اختلاف الطريقة التي ترتبط بها ذرات الكربون والسليكون مع الذرات الأخرى يدعم بقوة توقعنا بأن تكون أغلب أشكال الحياة خارج الأرض — إن لم يكن جميعها — معتمدة على الكربون لا السليكون. وخلاف الكربون والسليكون، لا يوجد سوى أنواع غريبة نسبيًّا من الذرات قادرة على الارتباط بما يصل إلى أربع ذرات أخرى، وهي أندر بكثير على مستوى الكون من الكربون والسليكون. ومن الناحية الحسابية، من المستبعد للغاية أن تقوم الحياة على ذرات كالجيرمانيوم بالصورة ذاتها التي تستخدم بها الحياة الأرضية الكربون.

المتطلب الثالث ينص على أن جميع أشكال الحياة تحتاج إلى محلول سائل تستطيع الجزيئات الطفو فيه والتفاعل بعضها مع بعض. هذا يعني أن «السائل» يمكن من الطفو والتفاعل، من خلال ما يطلق عليه الكيميائيون اسم «المحلول». فالسوائل تسمح بوجود تركيزات عالية نسبيًّا من الجزيئات، بيد أنها لا تفرض قيودًا على حركتها. وعلى النقيض تحبس المواد الصلبة الذرات والجزيئات في أماكنها. في الواقع، يظل بإمكانها الاصطدام والتفاعل بعضها مع بعض، لكن هذا يحدث على نحو أبطأ بكثير عن السوائل. أما في الغازات، فستتحرك الجزيئات بحرية أكبر عن السوائل، وبمقدورها الاصطدام دون موانع، لكن عمليات الاصطدام والتفاعل تحدث بتواتر أقل بكثير عما هو الحال في السوائل؛ لأن كثافة السائل تفوق كثافة الغاز بألف ضعف أو أكثر. وكما كتب أندرو مارفل: «لو أتيح لنا الوقت والمكان الكافيان»، فقد نجد أن الحياة تنشأ في الغازات بدلًا من السوائل. في الكون الحقيقي، البالغ من العمر ١٤ مليار عام فقط، لا يتوقع علماء الأحياء الفلكية أن يجدوا حياة بدأت في الغاز. بل على العكس هم يتوقعون أن تتكون

جميع أشكال الحياة غير الأرضية في جيوب من السوائل، تحدث داخلها عمليات كيميائية معقدة بينما تتصادم الأنواع المتباينة من الجزيئات لتكون أنواعًا جديدة.

هل يجب أن يكون ذلك السائل هو الماء؟ نحن نعيش على كوكب مائي، تغطي محيطاته قرابة ثلاثة أرباع سطحه. هذا يجعلنا متفردين داخل المجموعة الشمسية، بل قد يندر أن يوجد كوكب مثل كوكبنا في أي مكان بمجرة درب التبانة. إن الماء، الذي يتكون من جزيئات اثنين من أكثر العناصر وفرة في الكون، يظهر على الأقل بكميات متواضعة في المذنبات والنيازك وأغلب كواكب المجموعة الشمسية وأقمارها. من ناحية أخرى، لا يوجد الماء السائل في أي مكان بالمجموعة الشمسية إلا على كوكب الأرض، وتحت السطح الجليدي لأكبر أقمار المشتري يوروبا، في المحيط الذي يغطي القمر بأسره والذي يعد وجوده إلى الآن أمرًا مفترضًا لم يتم التحقق منه بعد. هل يمكن لمركبات أخرى أن توفر فرصًا أفضل للبحار أو البحيرات السائلة، يمكن داخلها أن تجد الجزيئات سبيلها إلى الحياة؟ أكثر ثلاثة مركبات من حيث الوفرة يمكنها الاحتفاظ بحالتها السائلة في نطاق من درجات الحرارة هي النشادر والإيثان والكحول الميثيلي. يتكون كل جزيء للنشادر من ثلاث ذرات هيدروجين وذرة نيتروجين، ويتكون الإيثان من ذرتي كربون وست ذرات هيدروجين، بينما يتكون الكحول الميثيلي من أربع ذرات هيدروجين وذرة كربون وذرة أكسجين. عند تدبر احتمالات ظهور الحياة خارج كوكب الأرض، من المنطقي التفكير في كائنات تستخدم النشادر أو الإيثان أو الكحول الميثيلي بالطريقة عينها التي تستخدم بها الأرض الماء، بوصفه السائل الأساسي الذي نشأت الحياة داخله على الأرجح، والذي يوفر الوسط الذي تستطيع الجزيئات أن تطفو فيه حتى تحقق هدفها الأسمى. تملك كواكب الشمس الأربعة الكبرى كميات مهولة من النشادر، بجانب كميات أصغر من الكحول الميثيلي والإيثان، كما أن أكبر أقمار زحل، تايتان، قد يملك بحيرات من الإيثان السائل على سطحه البارد.

إن اختيار نوع بعينه من الجزيئات بوصفه السائل الأساسي للحياة يعني على الفور وجود متطلب آخر للحياة: أن تظل هذه المادة في الحالة السائلة. فليس بوسعنا توقع ظهور الحياة في الغطاء الجليدي للقطب الجنوبي، أو في السحب الغنية ببخار الماء؛ لأننا بحاجة إلى السوائل كي تمكن الجزيئات من التفاعل بكثرة. تحت ضغوط الغلاف الجوي المماثلة لتلك الموجودة على سطح الأرض، يظل الماء بحالته السائلة بين درجتي الصفر والمائة درجة مئوية (أي ما بين ٣٢ و٢١٢ درجة فهرنهايتية). البدائل الثلاثة

الأخرى تظل في حالة سائلة في درجات أقل بكثير من درجة الماء. فالنشادر — على سبيل المثال — يتجمد عند درجة −٧٨ مئوية ويتبخر عند درجة −٣٣. وهذا يمنع النشادر من أن يكون المحلول السائل الذي يستضيف الحياة على الأرض، لكن في عالم تقل درجة حرارته بـ ٧٥ درجة عن عالمنا، حيث لا يصلح الماء لأن يكون المحلول المستضيف للحياة، قد يكون النشادر هو الحل السحري.

إن الملمح الأكثر أهمية وتمييزًا للماء لا يتمثل في سمعته المستحقة بوصفه «السائل الكوني»، التي عرفناها من دروس الكيمياء المدرسية، ولا في نطاق درجات الحرارة العريض الذي يحتفظ فيه بسيولته. بل تكمن الخاصية الأكثر لفتًا للنظر في حقيقة أنه بينما كل الأشياء — ومن بينها الماء — تنكمش وتصير أعلى كثافة مع البرودة، فإنه حين تهبط درجة حرارة الماء لما دون ٤ درجات مئوية فهو يتمدد، ويصير أقل كثافة بشكل مطرد كلما هبطت الحرارة نحو الصفر. وبعد ذلك، حين يتجمد الماء عند درجة الصفر المئوي، يتحول إلى مادة أقل كثافة من الماء السائل. فالجليد يطفو على السطح، وهو أمر مفيد للغاية للأسماك. وفي الشتاء، حين تهبط درجة حرارة الهواء الخارجي لما دون درجة التجمد، يغوص الماء البالغ حرارته ٤ درجات إلى القاع ويظل هناك؛ لأنه أعلى كثافة من الماء الأبرد بالأعلى، بينما تتكون طبقة طافية من الجليد ببطء شديد على السطح، لتعزل الماء الأدفأ بالأدنى.

دون هذا الانعكاس في الكثافة تحت مستوى الأربع درجات مئوية، كانت البحيرات والبرك ستتجمد من أسفل إلى أعلى، لا من أعلى لأسفل. فكلما هبطت حرارة الهواء الخارجي دون درجة التجمد، كان السطح الأعلى للبحيرة سيبرد ويغوص للقاع، بينما ترتفع المياه الأدفأ من الأسفل. وستتسبب عملية الحمل الحراري هذه في الهبوط سريعًا بدرجة حرارة الماء إلى الصفر المئوي بينما يبدأ السطح في التجمد. بعد ذلك سيغوص الثلج الصلب الأعلى كثافة إلى القاع. وحتى إذا لم يتجمد الماء الموجود كله من الأسفل للأعلى في موسم واحد، فسيؤدي تراكم الجليد في الأعماق إلى تجمد البحيرة بالكامل على مدار عدة أعوام. وفي عالم كهذا، ستأتي رياضة صيد السمك عبر فتحات الجليد بحصيلة أقل مما تأتي به الآن؛ لأن كل الأسماك ستكون ميتة؛ أسماك مجمدة. وسيجد صيادو السمك عبر فتحات الجليد أنفسهم على طبقة من الجليد إما مغمورة تحت الجزء المتبقي من الماء السائل أو على قمة جسم متجمد بالكامل من المياه. ولن نكون بحاجة

إلى كاسحات الجليد لاجتياز مياه القطب الشمالي المتجمدة؛ فالمحيط القطبي بأكمله إما سيكون متجمدًا صلبًا، أو ستكون الأجزاء المتجمدة فيه قد غرقت للقاع وسيمكنك الإبحار بسفينتك دون عوائق. وستتمكن من التزلج على أسطح البحيرات المتجمدة دون خوف من الوقوع عبر فتحات الجليد. وفي هذا العالم المختلف ستغرق مكعبات وجبال الجليد في الأعماق، وبهذا في أبريل من عام ١٩١٢، كانت السفينة تايتانيك — غير القابلة للغرق كما قيل عنها — ستتمكن من الإبحار بسلام نحو مرفأ مدينة نيويورك.

من ناحية أخرى، ربما نكون منحازين قليلًا في تحليلنا هذا. فأغلب محيطات الأرض ليست في خطر التجمد، سواء من أعلى إلى أسفل أو من أسفل إلى أعلى. وإذا غاص الجليد فقد يصير المحيط المتجمد الشمالي صلبًا، وقد يحدث الأمر عينه للبحيرات العظمى وبحر البلطيق. كان من شأن هذا التأثير أن يجعل من البرازيل والهند القوتين العالميتين العظميين، على حساب أوروبا والولايات المتحدة، لكن الحياة على الأرض كانت ستستمر وتزدهر بشكل طبيعي.

دعونا، في الوقت الحالي، نتبنى الفرضية القائلة إن للماء مزية كبيرة على منافسيه الأساسيين؛ النشادر والكحول الميثيلي، حتى إن أغلب الكائنات غير الأرضية، إن لم يكن جميعها، عليها الاعتماد على نفس السائل الذي تعتمد عليه الحياة الأرضية. لنأخذ جولة بين جيراننا، مسلحين بهذا الافتراض، إلى جانب الوفرة العامة للمواد الخام للحياة، ووفرة ذرات الكربون، إضافة إلى المدد الزمنية الطويلة المتاحة للحياة كي تنشأ وتتطور، ونلقي السؤال السرمدي: أين توجد الحياة؟ وبطريقة أخرى معاصرة هي: أين يوجد الماء؟

إذا طُلب منا الحكم على الأمور من واقع المظهر الجافِّ غير الودود لكواكب مجموعتنا الشمسية، فقد نخلص إلى أن الماء، مع وفرته على الأرض، يعد سلعة نادرة في بقية أرجاء المجرة. لكن من بين جميع الجزيئات التي يمكن تكوينها من ثلاث ذرات، يعد الماء الأكثر وفرة بمراحل، وهو ما يرجع في الأساس إلى أن العنصرين اللذين يتكون منهما الماء، الهيدروجين والأكسجين، يشغلان المركزين الأول والثالث على قائمة العناصر الأكثر وفرة. يعني هذا أنه بدلًا من التساؤل عن سبب وجود الماء على بعض الكواكب، علينا التساؤل عن سبب عدم امتلاكها جميعًا لمقادير كبيرة من هذا الجزيء البسيط.

كيف اكتسبت الأرض محيطات الماء الموجودة بها؟ ينبئنا التاريخ القديم نسبيًّا للقمر بأن أجسامًا عديدة اصطدمت بالقمر على مدار تاريخه. ومن المنطقي أن نتوقع

مرور الأرض باصطدامات مشابهة. بل في الواقع، يؤكد حجم الأرض الكبير وجاذبيتها القوية أنها تعرضت لاصطدامات أكثر بكثير — ومن قبل أجسام أكبر — من القمر. وهكذا استمر الحال، منذ مولد الأرض وحتى وقتنا الحالي. فعلى أي حال، لم تظهر الأرض بغتة من الفراغ النجمي، أو ظهرت للوجود ككرة تامة الاستدارة. إنما نما كوكبنا داخل السحابة الغازية المتكثفة التي كونت الشمس والكواكب الأخرى. خلال هذه العملية نمت الأرض من خلال التحام عدد مهول من الجسيمات الصلبة الصغيرة، وفي النهاية، من خلال الاصطدامات المتوالية للكويكبات الغنية بالمعادن والمذنبات الغنية بالماء بها. كم بلغ معدل هذه الاصطدامات؟ قد يكون معدل الاصطدامات المبكرة كبيرًا حتى إنه أتى إلينا بالماء الموجود في جميع المحيطات. يحيط عدم اليقين (والخلاف) بهذه الفرضية. فالماء الذي رصدناه في المذنب هالي يحوي نسبة من الديوتيريوم، وهو نظير للهيدروجين تحمل نواته نيوترونًا إضافيًّا، أعلى من تلك التي يحويها الماء الموجود على الأرض. وإذا جاءت محيطات الأرض من المذنبات، فلا بد أن المذنبات التي اصطدمت بالأرض بعد تكوُّن المجموعة الشمسية بقليل كان لها تركيب كيميائي مختلف بشكل ملحوظ عن المذنبات اليوم، أو على الأقل مختلف عن طبقة المذنبات التي ينتمي المذنب هالي إليها.

على أي حال، حين نضيف إسهامات المذنبات إلى بخار الماء المنبعث في الغلاف الجوي بفعل الثورات البركانية، لن يكون لدينا نقص في السبل التي استطاعت الأرض اكتساب مخزونها من مياه السطح من خلالها.

إذا أردت زيارة مكان خالٍ من الماء والهواء، فلن تحتاج إلى النظر أبعد من القمر. فالضغط الجوي للقمر المقارب للصفر، إضافة إلى أيامه التي يصل طولها إلى أسبوعين أرضيين وتتجاوز الحرارة فيها مائتي درجة فهرنهايتية، تسبب تبخر أي مياه بسرعة. وخلال الليالي القمرية التي يصل طول إحداها إلى أسبوعين أرضيين، تنخفض درجة الحرارة لما دون المائتين وخمسين درجة تحت الصفر، وهو ما يكفي لتجميد أي شيء. ولهذا أخذ رواد أبوللو الذين زاروا القمر معهم كل الماء والهواء (ونظم تكييف الهواء) التي احتاجوها في رحلتهم من وإلى القمر.

لكن من المستغرب أن تكتسب الأرض كل هذا القدر العظيم من الماء، بينما القمر القريب منها لا يحمل أي مياه. أحد التفسيرات المحتملة، المؤكد صحته جزئيًّا على الأقل، هو أن الماء تبخر من سطح القمر أسرع بكثير عن الأرض؛ لأن للقمر جاذبية أقل بكثير.

وهناك إمكانية أخرى تقترح أن البعثات المرسلة إلى القمر لن تحتاج في نهاية المطاف إلى أن تجلب معها الماء أو أيًّا من المنتجات المتنوعة المشتقة منه. فمشاهدات السفينة المدارية القمرية كليمنتين، التي حملت أداة لرصد النيوترونات المنتجة حين تصطدم الجسيمات النجمية المتحركة بسرعة بذرات الهيدروجين، تدعم القناعة المعتنقة لوقت طويل القائلة باحتمال وجود ترسبات جليدية عميقة أسفل الفوهات الموجودة قرب القطبين الشمالي والجنوبي للقمر. وما دام القمر يستقبل عددًا طبيعيًّا من الاصطدامات كل عام من الحطام الكوكبي، فمن المفترض أن يشمل مزيج الاصطدامات هذا — من حين لآخر — مذنبات ضخمة غنية بالماء، كالتي تضرب الأرض. لأي حجم يمكن أن تصل هذه المذنبات؟ تحتوي المجموعة الشمسية على عدد وفير من المذنبات التي يمكن أن تذوب إلى بركة في حجم بحيرة إيري.

ومع أننا لا نستطيع أن نتوقع من البحيرة المتكونة حديثًا أن تصمد لعدة أيام قمرية ملتهبة في درجة حرارة قدرها ٢٠٠ درجة، فإن أي مذنب يتصادف هبوطه في قاع فوهة عميقة قرب أي من قطبي القمر (أو يسبب هو الفوهة نفسها) سيظل محاطًا بالظلام؛ لأن الفوهات العميقة قرب القطبين هي الأماكن الوحيدة على القمر التي لا ترى ضوء الشمس. (إذا اعتقدت أن للقمر جانبًا مظلمًا على الدوام فهذا يعني أنك ضُللت من جهات عدة، من ضمنها ألبوم بينك فلويد «الجانب المظلم للقمر» الصادر عام ١٩٧٣.) وكما يعرف قاطنو القطبين على الأرض، المحرومون من ضوء الشمس، فالشمس في تلك المناطق لا ترتفع عاليًا في السماء في أي وقت من اليوم أو أي فصل من فصول العام. الآن تخيل أنك تعيش في قاع فوهة ترتفع حافتها لأعلى من أعلى ارتفاع يمكن لضوء الشمس الوصول إليه. وفي ظل عدم وجود هواء ينشر ضوء الشمس نحو الظلال، ستعيش في ظلام أبدي.

لكن حتى في الظلام البارد يتبخر الجليد ببطء. فقط انظر لمكعبات الثلج في درج المجمد بعد عودتك من إجازة طويلة: ستجد أن حجمها صار أصغر بشكل ملحوظ عما تركتها عليه. ومع ذلك، إذا كان الجليد مختلطًا بجسيمات صلبة جيدًا (كما هو الحال في المذنبات)، يستطيع البقاء آلاف وملايين الأعوام في قيعان الفوهات القطبية القمرية. وأي مركز قد ننشئه على القمر سيستفيد من الوجود قرب هذه البحيرة. وبجانب المزية الأساسية المتمثلة في إذابة الجليد ثم ترشيحه ثم شرب الماء، نستطيع أيضًا الاستفادة من فصل الهيدروجين الموجود في الماء عن الأكسجين. وبإمكاننا استخدام الهيدروجين،

إلى جانب بعض من الأكسجين، كمكونات نشطة لوقود الصواريخ، مع الاحتفاظ بالقدر المتبقي من الأكسجين للتنفس. وفي وقت الفراغ بين البعثات الفضائية ربما نختار ممارسة التزلج على الجليد.

مع أن كوكب الزهرة يماثل الأرض في الحجم والكتلة، فإن هناك عدة سمات تميز هذا الكوكب الشقيق لكوكبنا عن بقية كواكب المجموعة الشمسية، أبرزها غلافه الجوي الكثيف السميك العاكس المؤلف من ثاني أكسيد الكربون، الذي يجعل الضغط الجوي على سطح الكوكب أضعاف الضغط على الأرض. وفيما عدا المخلوقات البحرية التي تقطن الأعماق وتستطيع العيش في ضغوط مشابهة فإن جميع المخلوقات الأرضية ستنسحق وتموت لو عاشت على سطح الزهرة. إلا أن أغرب الملامح المميزة للزهرة تتمثل في الفوهات الحديثة نسبيًّا الموزعة على نحو متناسق على سطحه. هذا الوصف البريء من الظاهر يعني أن الكوكب تعرض منذ وقت قريب لكارثة شاملة أعادت ضبط تاريخ الفوهات — ومن ثم تمنعنا من تحديد عمر السطح من خلال الفوهات الموجودة على سطحه — وذلك بمحو جميع الأدلة على الاصطدامات السابقة. ربما تكون ظاهرة جوية كاسحة كبيرة، على غرار فيضان شمل سطح الكوكب بأسره، هي التي تسببت في هذا. لكن أيضًا يمكن لنشاط جيولوجي شامل، على غرار تدفق للحمم البركانية، أن يحول سطح الكوكب بالكامل إلى حلم لشركات السيارات الأمريكية؛ كوكب ممهد بالكامل. وبصرف النظر عن طبيعة الحدث الذي أعاد ضبط تاريخ الفوهات فمن المؤكد أنه توقف بغتة. لكن ثمة أسئلة مهمة، تحديدًا بشأن مياه الكوكب، تظل دون إجابة. فإذا حدث فيضان غمر كوكب الزهرة بأكمله، أين ذهب كل هذا الماء؟ هل غاص أسفل السطح؟ هل تبخر في الغلاف الجوي؟ أم هل تكون هذا الفيضان من مادة أخرى غير الماء؟ وحتى لو لم يحدث فيضان، فمن المفترض أن كوكب الزهرة حصل على مقدار مساوٍ من الماء كشقيقه كوكب الأرض، فما الذي حدث لهذا الماء؟

الإجابة المحتملة هي أن كوكب الزهرة فقد ماءه بسبب حرارته الشديدة، وهي النتيجة التي يمكن عزوها إلى غلافه الجوي. فمع أن جزيئات ثاني أكسيد الكربون تسمح للضوء المرئي بالمرور، فإنها تحبس الأشعة تحت الحمراء بفعالية شديدة. وعلى هذا يستطيع ضوء الشمس اختراق الغلاف الجوي للزهرة، حتى لو قلل انعكاس الغلاف الجوي من مقدار الضوء الذي يصل إلى سطح الكوكب. يتسبب ضوء الشمس في تسخين

سطح الكوكب، الذي يشع أشعة تحت الحمراء تعجز عن الإفلات. فجزيئات ثاني أكسيد الكربون تحبس الأشعة تحت الحمراء بينما تستمر هذه الأشعة في تسخين الطبقة الدنيا من الغلاف الجوي وسطح الكوكب أدناها. يطلق العلماء على الاحتباس الحراري للأشعة تحت الحمراء «تأثير الصوبة»، حيث يشبهون الغلاف الجوي بالنوافذ الزجاجية التي تسمح للضوء المرئي بالعبور لكنها تمنع جزءًا من الأشعة تحت الحمراء. شأن كوكب الزهرة وغلافه الجوي، تشهد الأرض هذا الاحتباس الحراري، الضروري لأشكال عديدة من الحياة، الذي يسبب ارتفاع درجة الحرارة بخمس وعشرين درجة فهرنهايتية عما لو لم يكن الغلاف الجوي موجودًا. يحدث القدر الأعظم من الاحتباس الحراري بسبب التأثير المزدوج لجزيئات الماء وثاني أكسيد الكربون. وبما أن الغلاف الجوي للأرض به واحد على عشرة آلاف من جزيئات ثاني أكسيد الكربون الموجودة في الغلاف الجوي للزهرة، يعد الاحتباس الحراري هنا شيئًا لا يذكر مقارنة بالوضع هناك. لكننا مع ذلك نستمر في إضافة المزيد من ثاني أكسيد الكربون لغلافنا الجوي من خلال حرق الوقود الحفري، مما يزيد من تأثير الاحتباس الحراري، وبهذا نجري دون قصد تجربة كوكبية نرى من خلالها التأثيرات الضارة الناتجة عن احتباس المزيد من الحرارة. على كوكب الزهرة، تسبب الاحتباس الحراري للغلاف الجوي، والناتج بالكامل عن جزيئات ثاني أكسيد الكربون، في رفع درجة الحرارة بمئات الدرجات، وهو ما جعل سطح كوكب الزهرة يصل إلى درجة حرارة متقدة تقارب الخمسمائة درجة مئوية (٩٠٠ درجة فهرنهايتية)، وبهذا يكون أشد كواكب المجموعة الشمسية حرارة.

كيف وصل الزهرة لهذه الحالة المؤسفة؟ يستخدم العلماء المصطلح الملائم «الاحتباس الحراري المتزايد» لوصف ما حدث حين رفعت الأشعة تحت الحمراء المحتبسة بفعل الغلاف الجوي للزهرة من درجة الحرارة وشجعت الماء السائل على التبخر. أدى الماء المتبخر في الغلاف الجوي إلى حبس المزيد من الأشعة تحت الحمراء بفعالية أكبر، وهو ما عزز من عملية الاحتباس الحراري، وأدى بدوره إلى دخول المزيد من الماء للغلاف الجوي، الذي عزز تأثير الاحتباس الحراري أكثر. قرب قمة الغلاف الجوي للزهرة تحطم الأشعة فوق البنفسجية الآتية من الشمس جزيئات الماء إلى ذرات هيدروجين وأكسجين. وبسبب الحرارة العالية تتمكن ذرات الهيدروجين من الإفلات، بينما تتحد ذرات الأكسجين الأثقل بذرات أخرى، ولا تعود لتكون الماء ثانية. وبمرور الوقت تبخر كل الماء الذي كان موجودًا على — أو بالقرب من — سطح الزهرة ولم يعد إلى الكوكب ثانية.

شكل ٢١: هذه المنطقة المتمددة من الغازات، التي يسميها الفلكيون بالمنطقة «أي سي ٤٤٣» هي بقايا لمستعر أعظم وتبعد حوالي خمسة آلاف سنة ضوئية عن مجموعتنا الشمسية. انفجر النجم قبل أن تُظْهِر بقاياه الضوء المسجل بهذه الصورة، المأخوذة من تلسكوب كندا-فرنسا-هاواي في مرصد مونا كيا، بحوالي ٣٠ ألف عام.



شكل ٢٢: صورت هذه الحزم الغازية في السديم الثلاثي، الذي يبعد عنا حوالي خمسة آلاف سنة ضوئية، بواسطة المعدات البصرية عالية الدقة لتلسكوب هابل الفضائي. الغاز الموجود في هذه الأعمدة من المؤكد أنه أعلى كثافة من المناطق المحيطة، التي جُردت من الغاز على يد الإشعاع الصادر عن النجوم الشابة الحارة القريبة.



شكل ٢٣: السديم المسمى «إن جي سي ٢٤٤٠»، يحيط بقلب نجم كان موجودًا في وقت ما واستنفد وقوده، لكن احتفظ ببعض حرارته. هذا «القزم الأبيض» يظهر نقطة ساطعة بالقرب من مركز السديم في هذه الصورة الملتقطة بواسطة تلسكوب هابل الفضائي. وقبل أن يمضي وقت طويل سوف يتبخر الغاز المحيط بهذا الجرم، الواقع على مسافة ٣٥٠٠ سنة ضوئية من مجموعتنا الشمسية، في الفضاء تاركًا القزم الأبيض وحيدًا بينما يبرد ببطء ويزداد خفوتًا.



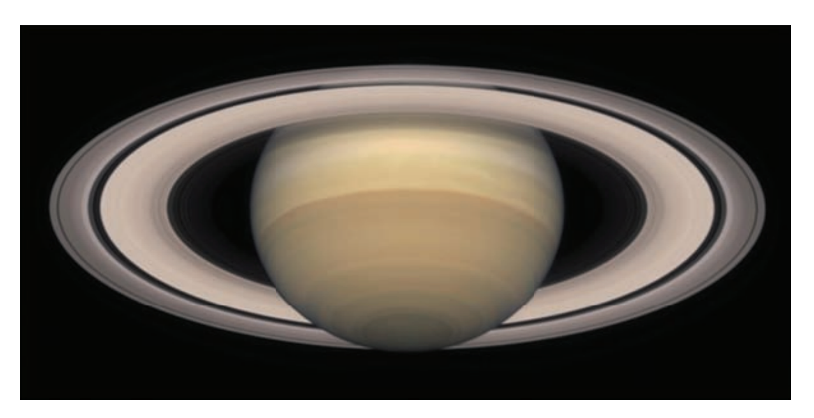
شكل ٢٤: هذا الجسم المذهل، المُكتشف على يد الفلكي الشهير ويليام هيرشل في عام ١٧٨٧، يحمل اسم سديم الإسكيمو لأنه يشبه الوجه المحاط بغطاء الرأس المصنوع من الفراء. هذا السديم، الذي يبعد عنا حوالي ٣ آلاف سنة ضوئية، يتكون من الغاز المطرود من نجم مسن وهو مضاء بالأشعة فوق البنفسجية الصادرة عن هذا النجم، الذي صار سطحه حارًّا بشدة حتى إنه يبعث بالأشعة فوق البنفسجية بدلًا من أشعة الضوء المرئي. مثل هيرشل، يسمي الفلكيون مثل هذه الأجسام بـ «السدم الكوكبية» لأن التلسكوب الصغير سيظهرها فقط على صورة أقراص عديمة الملامح، شبيهة بصور الكواكب. هذه الصورة الملتقطة بتلسكوب هابل الفضائي تزيل أي حيرة من خلال الكشف عن مجموعة من التفاصيل في الغازات المتمددة بعيدًا عن النجم المركزي.



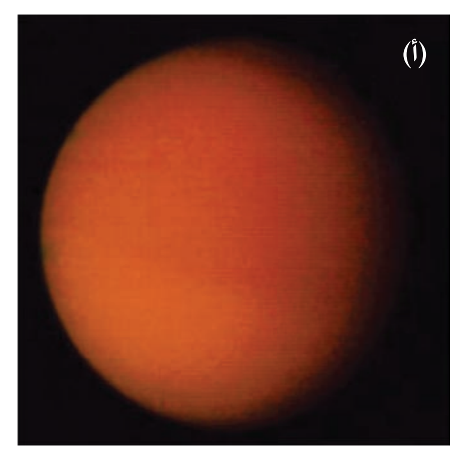
شكل ٢٥: وسط إحدى مناطق تكون النجوم في مجرتنا، تمتص سحابة باردة نسبيًّا وكثيفة من الغاز والغبار ضوء النجوم، مخلفة السديم المسمى، على نحو ملائم، بـ «سديم رأس الحصان»، والمصور بواسطة تلسكوب كندا–فرنسا–هاواي بمرصد مونا كيا. هذه السحابة من الغبار، التي تبعد عن مجموعتنا الشمسية نحو ١٥٠٠ سنة ضوئية، تشكل جزءًا من سحابة نجمية أخرى أبرد وأكبر بكثير وأشد ظلامًا، يشكل جزء منها البحر الداكن الذي يظهر أسفل رأس الحصان.

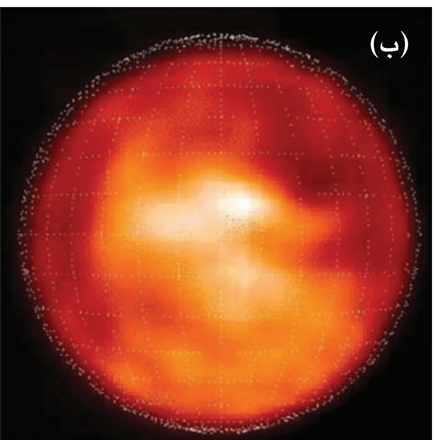


شكل ٢٦: هذه الصورة الفوتوغرافية المأخوذة بزاوية عريضة بواسطة الفلكي الهاوي ريك سكوت في عام ٢٠٠٣ تبين الخط الساطع الذي أنتجه أحد الشهب خلال وابل الشهب السنوي في أواسط أغسطس، حين تتعرض الأرض لقدر من الحطام الفضائي أكثر من المعتاد. وكل قطعة من الحطام، مندفعة بسرعة تصل إلى عدة أميال في الثانية الواحدة، تخترق الغلاف الجوي للأرض بقوة تجعلها تتبخر، إما بصورة كلية أو جزئية. في هذه الصورة يمكن رؤية مجرة أندروميدا (يسار وسط الصورة) على مسافة حوالي مليون تريليون ميل أبعد من ارتفاع الشهاب، البالغ ارتفاعه حوالي ٤٠ ميلًا فوق سطح الأرض.



شكل ٢٧: زحل، ثاني أكبر كواكب المجموعة الشمسية، له نظام بديع من الحلقات، يصورها لنا تلسكوب هابل الفضائي بكل روعتها. وشأن نظم الحلقات الأخرى الأكثر تواضعًا حول المشتري وأورانوس ونبتون، تتكون حلقات زحل من ملايين الجسيمات الصغيرة التي تدور حول الكوكب.

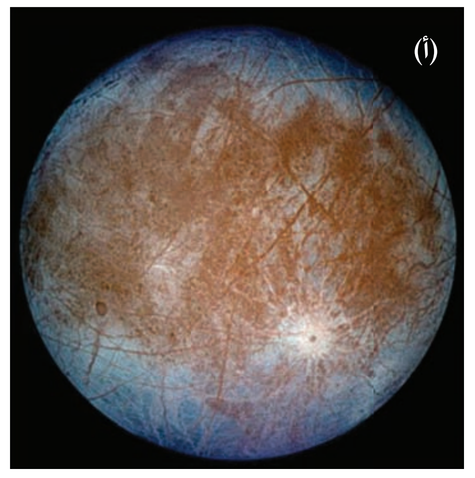


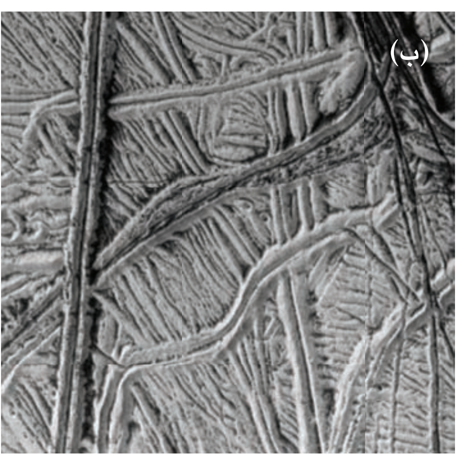


شكل ٢٨: القمر تايتان، أكبر أقمار المشتري، له غلاف جوي سميك مكون بالأساس من جزيئات النيتروجين، لكنه غني أيضًا بجزيئات الضباب والدخان التي تمنع رؤية سطحه بالضوء العادي (الصورة العليا ملتقطة بواسطة مركبة الفضاء فوياجر ٢ في عام ١٩٨١). لكن بالنظر إليه بالأشعة تحت الحمراء (كما في الصورة الملتقطة بواسطة تلسكوب كندا-فرنسا-هاواي بمرصد مونا كيا)، يكشف تايتان عن الخطوط العريضة لمظاهر السطح التي قد تتكون من بحيرات سائلة، ومناطق صخرية، بل أنهار جليدية من الهيدروكربونات المتجمدة.



شكل ٢٩: في ديسمبر عام ٢٠٠٠، بينما كانت مركبة الفضاء كاسيني تمر بجوار المشتري في طريقها للقاء بكوكب زحل في عام ٢٠٠٤، صورت المركبة الطبقات الخارجية لأكبر كواكب الشمس. يتكون المشتري من قلب صلب، محاط بطبقات غازية يبلغ سمكها آلاف الأميال. هذه الغازات، المكونة في أغلبها من مركبات الهيدروجين مع الكربون والنيتروجين والأكسجين، تبدو ذات أنماط دائرية ملونة نتيجة الدوران السريع للمشتري حول نفسه. ويبلغ حجم أصغر المظاهر البارزة في الصورة حوالي أربعين ميلًا عرضًا.





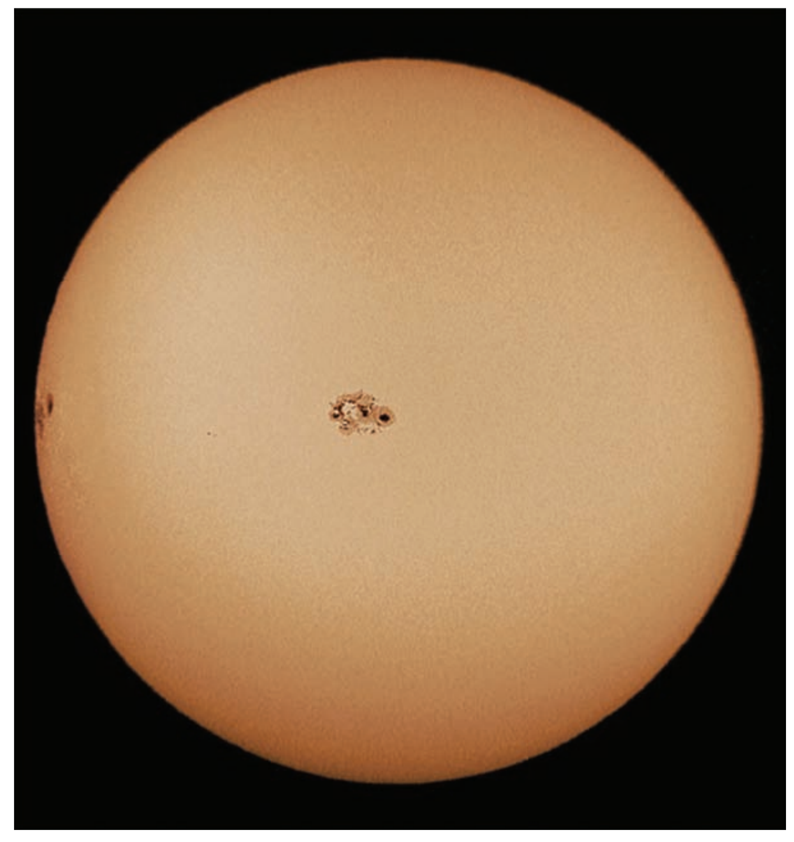
شكل ٣٠: يوروبا، أحد أقمار المشتري الأربعة الكبرى، له قطر مساوٍ تقريبًا لقطر قمرنا، لكن تظهر على سطحه خطوط طويلة مستقيمة قد تمثل شقوقًا منتشرة في سطحه الجليدي بطول القمر بأكمله (الصورة العليا). بعد التقاط هذه الصورة الشاملة ليوروبا، عمدت مركبة الفضاء جاليليو لتفحص القمر عن كثب (الصورة السفلى) من على مسافة ٣٥٠ ميلًا فقط. هذه الصورة المقربة لسطح يوروبا تبين وجود تلال جليدية وجداول مستقيمة، يتخللها ما يمكن أن يكون فوهات اصطدام داكنة. ثمة توقعات قوية بأن تخفي طبقة الجليد السطحية ليوروبا، الممتدة لمسافة نصف الميل، محيطًا يمتد بعرض القمر بأسره، قادرًا على دعم أشكال من الحياة البدائية.



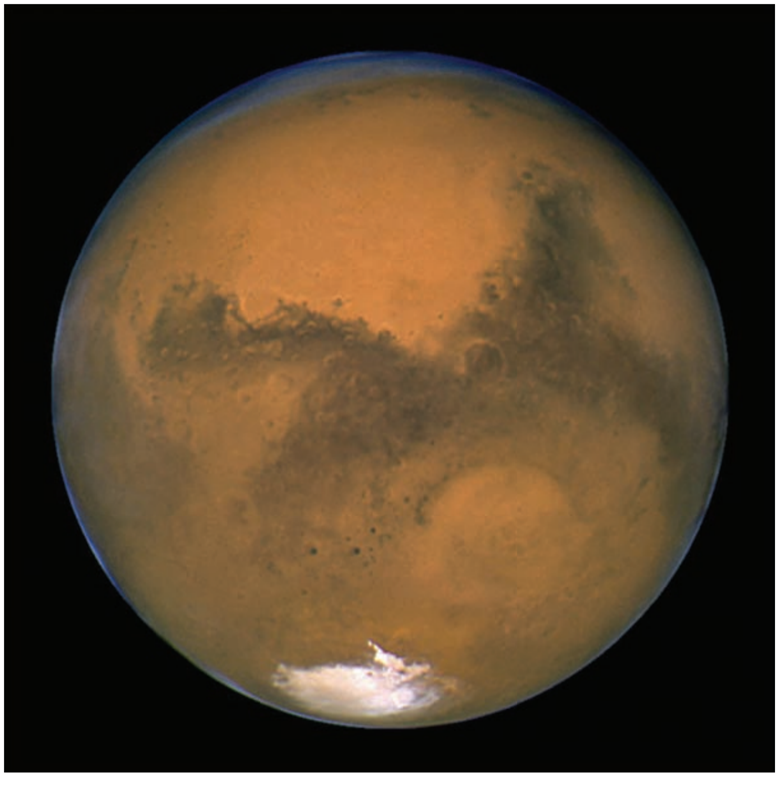
شكل ٣١: في أوائل التسعينيات مكنت موجات الراديو المرسلة من مركبة الفضاء ماجلان التي تدور حول كوكب الزهرة، والقادرة على اختراق الغلاف الجوي الذي يمنع الرؤية البصرية، الفلكيين من إنتاج هذه الصورة اللاسلكية لسطح كوكب الزهرة. يظهر بالصورة العديد من الفوهات الضخمة، أما المناطق الواسعة ذات الألوان الساطعة فهي كبرى هضاب الزهرة.



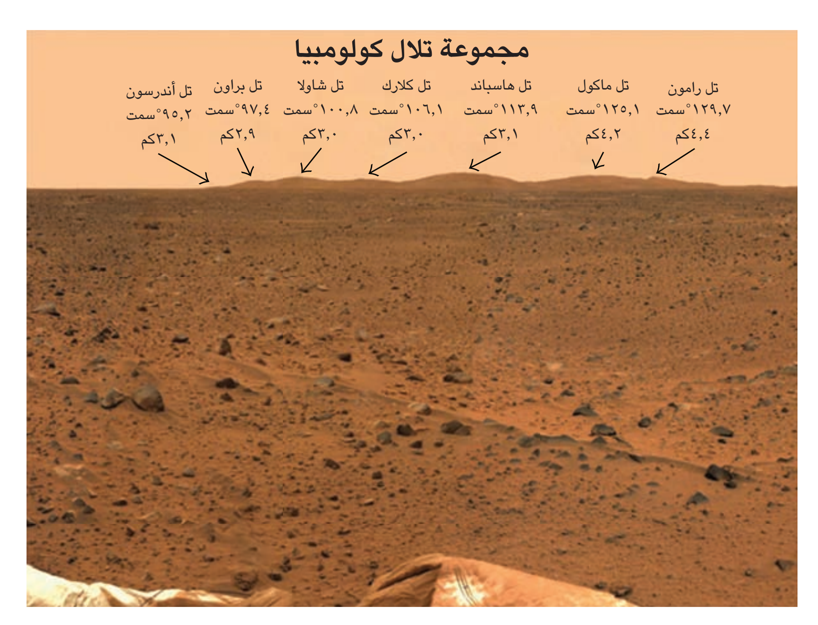
شكل ٣٢: في عام ١٩٧١ استخدم رواد الرحلة أبوللو ١٥ أول مركبة تسير على سطح عالم آخر لاستكشاف الهضاب القمرية، وذلك في بحثهم عن أدلة على أصل القمر.



شكل ٣٣: في أكتوبر من عام ٢٠٠٣ ظهرت بقعتان شمسيتان، كل منهما أكبر بعدة مرات من الأرض، على سطح الشمس، وقد التقطتهما هنا عدسة الفلكي الهاوي خوان كارلوس كاسادو. هذه البقع الشمسية، التي تدور مع الشمس، تستغرق حوالي شهرًا أو نحو ذلك لعبور سطح الشمس ثم الظهور مجددًا، وفي المعتاد تخبو في غضون الفترة ذاتها. تدين البقع الشمسية بظلمتها النسبية إلى درجة حرارتها المنخفضة (حوالي ٨ آلاف درجة فهرنهايتية بالمقارنة بمتوسط الحرارة على سطح الشمس البالغ ١٠ آلاف درجة فهرنهايتية). تنشأ درجات الحرارة المنخفضة من تأثير المجالات المغناطيسية، المرتبطة أيضًا بالانفجارات الشمسية العنيفة، القادرة على إطلاق تيارات من الجسيمات المشحونة التي تؤثر على الاتصالات اللاسلكية على الأرض وعلى صحة رواد الفضاء.



شكل ٣٤: هذه الصورة للمريخ، الملتقطة بواسطة تلسكوب هابل الفضائي خلال اقتراب مدار المريخ من الأرض عام ٢٠٠٣، تظهر الغطاء القطبي الجنوبي (المكون في أغلبه من ثاني أكسيد الكربون المتجمد) في الأسفل. الشكل الدائري الكبير في أدنى يمين الصورة يسمى بحوض اصطدام هيلاس. والعديد من الفوهات الأصغر تمثل الهضاب المريخية الأفتح لونًا، بينما المناطق الداكنة الكبرى تمثل الوديان المريخية.



شكل ٣٥: هذه الصورة لسطح المريخ، الملتقطة بواسطة المركبة الجوالة سبيريت في يناير من عام ٢٠٠٤، تظهر بعض التلال في الأفق على بعد بضعة أميال. سمَّت ناسا هذه التلال بأسماء رواد الفضاء السبعة الذين قضوا نحبهم في كارثة المكوك كولومبيا في الأول من فبراير عام ٢٠٠٣، وذلك تكريمًا لذكراهم. وعلى غرار الموقعين اللذين هبطت عليهما مركبة الفضاء فايكينج في ١٩٧٦، يظهر بالموقعين اللذين هبطت عليهما المركبتان الجوالتان سبيريت وأوبرتيونيتي في ٢٠٠٤ سفوح تتناثر في أرجائها الصخور دون أي علامة على وجود حياة.



شكل ٣٦: نظرة مقربة للمكان المجاور مباشرة للمركبة الجوالة سبيريت تظهر ما يمكن أن يكون صخورًا قديمة، إلى جانب صخور أخرى جديدة غنية بالمركبات التي تكوِّن المياه الجوفية عادة في كوكب الأرض. درجة اللون المائلة إلى الحمرة تأتي من أكاسيد الحديد (الصدأ) في صخور السطح والتربة.



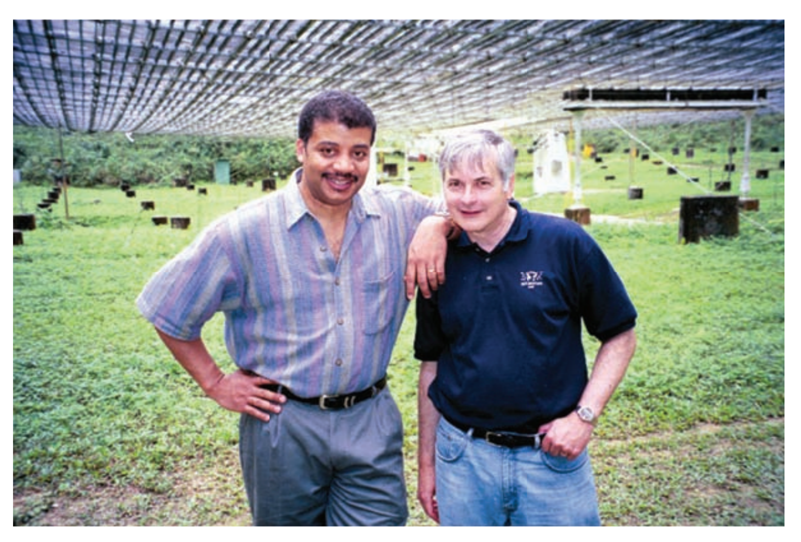
شكل ٣٧: أستاذ الأحياء بجامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس، كين نيلسون، في أحد المواقع برفقة أحد مؤلفيْ الكتاب (نيل ديجراس تايسون) في وادي الموت أثناء تصوير الحلقة الخاصة من برنامج نوفا على شبكة التليفزيون العامة بعنوان «البدايات». يدرك نيلسون، بوصفه خبيرًا في الكائنات الدقيقة القادرة على العيش في الظروف الجيولوجية القاسية، أن هذه البيئة الحارة القاحلة العدائية للحياة توفر نظامًا بيئيًّا غنيًّا للبكتيريا التي تعتاد العيش في شقوق الصخور، أو على الجوانب السفلية الظليلة البعيدة عن ضوء الشمس الطاغي. درجة اللون المائلة للحمرة في صخور وادي الموت تشبه تلك الموجودة على سطح المريخ.



شكل ٣٨: يوم عصيب على الأرض. مشهد من تخيل فنان رسوم الفضاء دون ديفيز يصور اصطدام أحد الكويكبات بالأرض منذ ٦٥ مليون عام، الذي تسبب في انقراض الديناصورات غير الطائرة إلى جانب ٧٠ بالمائة من أنواع الكائنات البرية، بما في ذلك جميع الحيوانات الأكبر حجمًا من صندوق الخبز. وقد مكنت الثغرات التي خلفها اختفاء الديناصورات في النظام البيئي الثدييات من التطور من زبابيات الشجر — التي لم تكن أكثر من مجرد فواتح شهية للديناصورات — إلى أنواع الثدييات الكثيرة المتنوعة التي نراها اليوم.



شكل ٣٩: هذا التكوين الصخري، من النوع المعروف بـ «المدخنة السوداء»، الموضح بمقطع عرضي رأسي، اقتُطع من أخدود خوان دي فوكا بالمحيط الهادي، وهو الآن يُعرض بقاعة كوكب الأرض بالمتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي بنيويورك. على امتداد الأخاديد الموجودة وسط المحيط يمكن للمياه أن تتسرب عبر القشرة الأرضية وأن تسخن لدرجات حرارة فائقة، وتتسبب في إذابة الأملاح المعدنية على امتداد طريقها. وكلما اندفعت المياه مجددًا نحو قاع المحيط وجدنا البُنى الشبيهة بالمداخن، المكونة نتيجة ترسب الأملاح المعدنية من الماء المبرد. إن مسامية هذه البُنى، وتدرجات الحرارة والمواد الكيميائية التي تتحملها، تمكن نظامًا بيئيًّا كاملًا من الازدهار على الطاقة الحرارية والكيميائية الآتية من باطن الأرض، دون أي دور للشمس كمصدر للطاقة الداعمة للحياة. إن شدة التحمل المكتشفة حديثًا لبعض أنواع البكتيريا وغيرها من أشكال الحياة على الأرض ضاعفت قائمة البيئات التي يمكن أن نجد فيها الحياة في الكون.



شكل ٤٠: د. سيث شوستاك، من معهد سيتي (مشروع البحث عن حضارات ذكية غير أرضية)، بجوار أحد مؤلفيْ الكتاب (نيل ديجراس تايسون) أثناء تصوير برنامج «البدايات» بالقرب من تلسكوب أريسيبو الراديوي في بورتوريكو. استخدم شوستاك هذا التلسكوب الأكبر من نوعه في العالم كي «يستمع» للإشارات الذكية الممكنة المنتجة من قبل أي حضارات بعيدة. هذا التلسكوب منصوب على فوهة طبيعية من الحجر الجيري. وقد تم تصوير شوستاك وتايسون وهما يسيران ويتحدثان أسفل الأسلاك المتشابكة المؤلفة لقرص التلسكوب؛ التي تعد في حد ذاتها بيئة غريبة على عالمنا.

تحدث عمليات مشابهة على الأرض، لكن بمعدلات أقل بكثير؛ لأن حرارة الغلاف الجوي لدينا أقل بكثير. تشغل محيطاتنا الضخمة السواد الأعظم من سطح الأرض، مع أن عمقها المتواضع يمكنها فقط من أن تمثل واحدًا على خمسة آلاف من الكتلة الإجمالية للأرض. لكن حتى هذه النسبة اليسيرة تمكن المحيطات من أن تزن ١٫٥ كوينتيليون (مليون التريليون) طن، ٢ بالمائة منها متجمدة. وإذا مرت الأرض بعملية احتباس حراري كتلك التي حدثت في الزهرة، فسيحبس غلافنا الجوي مقدارًا أكبر من الطاقة الشمسية، وهو ما سيرفع حرارة الهواء ويجعل المحيطات تتبخر بسرعة في الغلاف الجوي بينما تغلي بشكل مستمر. سيكون هذا سيئًا. فبالإضافة إلى السبل البديهية التي يمكن أن تفنى بها الحياة النباتية والحيوانية على الأرض، سيكون أحد مسببات هذا الهلاك هو زيادة ثقل الغلاف الجوي للأرض بثلاثمائة ضعف بفضل بخار الماء الذي يحويه؛ أي إننا سننسحق ونُشوى بواسطة الهواء الذي نتنفسه.

إن ولعنا بالكواكب — وجهلنا بها — لا يقتصر على كوكب الزهرة وحده. فمن المؤكد أن المريخ، بمجاري أنهاره الطويلة الجافة المتعرجة المحفوظة لوقتنا هذا وسهول فيضاناته ودلتا أنهاره وشبكات روافده وأخاديده التي حفرتها الأنهار، كان فيما مضى جنة بدائية عامرة بالمياه الجارية. وإذا كان لأي مكان آخر في المجموعة الشمسية خلاف الأرض أن يتفاخر بموارد مياهه المزدهرة، فلا بد أن هذا المكان هو المريخ. لكن لأسباب غير معروفة للمريخ اليوم سطح جافٌّ تمامًا. إن الفحص الدقيق للزهرة والمريخ، أقرب كوكبين لنا، يجبرنا على النظر إلى الأرض بمنظور جديد، والتعجب من مدى قابلية مخزون المياه السطحية لدينا للزوال سريعًا.

في بدايات القرن العشرين افترض الفلكي الأمريكي المرموق برسيفال لويل، بفضل مشاهداته الميالة للخيال لسطح المريخ، أن مستعمرات من المريخيين واسعي الحيلة بنت شبكة معقدة من القنوات بهدف إعادة توزيع المياه من الأغطية الجليدية للقطبين إلى المناطق الوسطى العامرة بالسكان. ولتفسير ما ظن أنه رآه تخيل لويل أن هناك حضارة محتضرة استنفدت مخزونها من المياه، كأن تكتشف مدينة فينيكس أن نهر كولورادو محدود. وفي دراسته الوافية والبعيدة عن الحقيقة بشكل عجيب بعنوان «المريخ كلبنة للحياة»، والمنشورة عام ١٩٠٩، رثى لويل النهاية الوشيكة لحضارة المريخيين التي تخيل أنه رآها.

في الواقع، يبدو المريخ في طريقه للجفاف لدرجة يستحيل معها أن يدعم سطحه أي حياة على الإطلاق. فببطء لكن بثقة، سيمحو الزمن أي حياة من على سطحه، إن لم يكن هذا قد حدث بالفعل. وحين تخبو آخر جذوة للحياة سيهيم الكوكب في الفضاء كعالَم ميت، انتهى تاريخه التطوري إلى الأبد.

بيد أن لويل أصاب في شيء وحيد؛ إذا كان لدى المريخ حضارة (أو أي شكل من أشكال الحياة) احتاجت وجود الماء على السطح، فمن المؤكد أنها واجهت كارثة ما؛ لأنه في وقت ما غير معلوم من تاريخ المريخ ولأسباب غير معروفة، جفَّ الماء الموجود على السطح تمامًا، مؤديًا إلى مصير الحياة ذاته الذي وصفه لويل، مع أن هذا حدث في الماضي، لا الحاضر. ويظل ما حدث للماء الذي تدفق بغزارة على سطح المريخ منذ مليارات الأعوام لغزًا بارزًا يحير علماء جيولوجيا الكواكب. فالمريخ يملك فعلًا بعض الجليد في قممه القطبية، يتكون في الأساس من ثاني أكسيد الكربون المجمد (ما يسمى بـ «الثلج الجاف»)، ومقدار ضئيل من بخار الماء في غلافه الجوي. ومع أن القمم القطبية هي الوحيدة التي تحتوي على كميات الماء المعروف وجودها على المريخ، فإن محتوى الجليد الإجمالي يقل بكثير عن القدر المطلوب لتفسير الآثار العتيقة لتدفق الماء على سطح المريخ.

إذا لم يكن السواد الأعظم من الماء الموجود قديمًا على المريخ قد تبخر في الفضاء، فمن المرجح أنه يختفي تحت السطح، تحت الطبقة الجوفية المتجمدة على الدوام للكوكب. ما الدليل على ذلك؟ الفوهات الكبرى على سطح المريخ تظهر — أكثر من الفوهات الصغيرة — بقايا من الطين الجاف تتناثر حول حوافها. إذا كانت الطبقة المتجمدة تقع على أعماق جوفية كبيرة، فسيتطلب الوصول إليها اصطدامًا كبيرًا. وسيتسبب مقدار الطاقة الناجم عن مثل هذا الاصطدام في إذابة الجليد الجوفي، متسببًا في تناثره للخارج. الفوهات ذات البقايا الطينية أكثر شيوعًا في المناطق القطبية الباردة، وهو المكان الذي نتوقع أن تكون فيه الطبقات الجليدية الجوفية قريبة من سطح المريخ. وفق التقديرات المتفائلة لمحتوى الطبقات المتجمدة المريخية، فإن إذابة طبقات المريخ الجليدية الجوفية سيحرر من الماء ما يكفي لغمر المريخ بأسره بمحيط عمقه عشرات الأمتار. وعلى أي بحث عن الحياة المعاصرة (أو الحفرية) على المريخ أن يتضمن خطة للبحث في مواضع عديدة، خاصة أسفل سطح المريخ. ومن منظور العثور على حياة على المريخ، يكون السؤال الأهم الذي علينا إجابته هو: هل يوجد ماء سائل في أي مكان على المريخ الآن؟

جزء من الإجابة يأتينا من معرفتنا بالفيزياء. فمن المحال وجود ماء سائل على سطح المريخ؛ لأن الضغط الجوي هناك، البالغ أقل من واحد بالمائة من نظيره على الأرض، لا يسمح بذلك. وكما يعرف متسلقو الجبال المتحمِّسون فإن الماء يتبخر عند درجات حرارة أقل كلما قل الضغط الجوي. فعلى قمة جبل ويتني، حيث يقل الضغط الجوي إلى نصف قيمته عند مستوى سطح البحر، لا يغلي الماء عند درجة حرارة ١٠٠ درجة مئوية، بل ٧٥ درجة. أما على قمة جبل إفرست، حيث يبلغ ضغط الهواء ربع قيمته عند مستوى سطح البحر، يغلي الماء عند درجة ٥٠ مئوية. وعلى ارتفاع عشرين ميلًا، حيث يعادل الضغط الجوي واحدًا بالمائة من الضغط الذي تشعر به عند السير على أحد أرصفة شوارع نيويورك، يغلي الماء عند درجة حرارة ٥ درجات مئوية. وإذا ارتفعت عدة أميال، فستجد أن الماء السائل «يغلي» عند درجة حرارة الصفر المئوي، بمعنى أنه سيتبخر لحظة تعرضه للهواء. يستخدم العلماء كلمة «التسامي» لوصف مرور المادة من الحالة الصلبة إلى الغازية دون المرور بالحالة السائلة. كلنا نعرف ظاهرة التسامي من صغرنا، حين كان بائع المثلجات يفتح الباب السحري ليكشف ليس فقط عن المثلجات الشهية، بل عن قطع من الثلج «الجاف» الذي يحافظ على برودتها. يمد الثلج الجاف بائع المثلجات بمزية عظيمة عن الثلج العادي؛ إذ إنه يتسامى من الحالة الصلبة إلى الغازية دون أن يخلف وراءه ماءً سائلًا يحتاج للتنظيف. وهناك قصة بوليسية قديمة ورد بها لغز عن رجل شنق نفسه من خلال الوقوف على قالب من الثلج الجاف، إلى أن تبخر الثلج وتدلى الرجل من حبل المشنقة، ولم يعرف المحققون كيف تمكن الرجل من فعل هذا (إلا إذا حللوا الهواء الموجود بالغرفة بحرص).

ما يحدث لثاني أكسيد الكربون على سطح الأرض يحدث للماء على سطح المريخ. فمن المحال أن يوجد الماء السائل هناك، حتى وإن ارتفعت الحرارة في أيام الصيف المريخية الدافئة لما فوق الصفر المئوي. يبدو أن هذا يقلل بشدة من إمكانية وجود الحياة، إلى أن ندرك أن الماء السائل يمكنه أن يوجد أسفل السطح. إن البعثات المستقبلية للمريخ التي ستبحث إمكانية العثور على حياة عتيقة، أو حتى حديثة، على الكوكب الأحمر، ستوجه نفسها صوب المناطق التي يمكنها فيها حفر سطح المريخ بحثًا عن إكسير الحياة المتدفق.

لكن الماء، مع أنه يبدو بالفعل إكسير الحياة، قد يعد في نظر من يجهلون الكيمياء مادة قاتلة يجب تجنبها بأي ثمن. ففي عام ١٩٩٧ أجرى ناثان زونر، الطالب بمدرسة

إيجل روك الإعدادية بإيداهو البالغ من العمر أربعة عشر عامًا، تجربة شهيرة في الوقت الحالي (بين مبسطي العلوم) في معرض للعلوم لاختبار المشاعر المعادية للتكنولوجيا وما يرتبط بها من رهاب للكيمياء. دعا زونر الناس للتوقيع على عريضة تطالب إما بفرض شروط صارمة على مركب ثنائي الهيدروجين أحادي الأكسجين أو حظره تمامًا. وقد أورد بعض السمات الكريهة لهذه المادة عديمة اللون والرائحة:

- أنها مكون رئيسي للمطر الحمضي.
- أنها تذيب أي شيء يتصل بها.
- أنها قد تسبب الوفاة لو استنشقت عرضًا.
- أنها قد تسبب حروقًا خطيرة في حالتها الغازية.
- أنها موجودة في أورام مرضى السرطان الميئوس من شفائهم.

من الخمسين شخصًا الذين طلب زونر منهم التوقيع على العريضة وقع بالفعل ثلاثة وأربعين شخصًا، بينما لم يحسم ستة أمرهم، وواحد فقط هو الذي أظهر تأييده للجزيء ورفض التوقيع. نعم، ٨٦ بالمائة من المارة صوَّتوا لحظر ثنائي الهيدروجين أحادي الأكسجين (الماء) من البيئة.

ربما هذا ما حدث بالفعل للماء على المريخ.

تمدنا الزهرة والأرض والمريخ بقصة مفيدة عن مساوئ ومزايا التركيز على الماء (أو أي سائل آخر) بوصفه أساس الحياة. فحين فكر الفلكيون في الأماكن التي يمكن العثور فيها على الماء السائل، ركزوا في البداية على الكواكب التي تدور على مسافات مناسبة من شموسها بحيث تستطيع الاحتفاظ بالماء في حالة سائلة؛ أي لا تكون أقرب أو أبعد مما يجب. وهذا يأخذنا إلى قصة ذات الضفائر الذهبية «جولديلوكس».

في وقت ما من الماضي — يزيد على أربعة مليارات عام — كانت المجموعة الشمسية قد شارفت على الاكتمال. تكوَّن كوكب الزهرة على مسافة قريبة من الشمس بحيث تسببت طاقة الشمس الشديدة في تبخير مخزون الماء الذي كان من الممكن أن يحمله. تكون المريخ على مسافة بعيدة عن الشمس، بحيث تجمد ما يحمله من ماء. فقط كوكب وحيد، الأرض، هو الذي كان على المسافة «المناسبة تمامًا» كي يظل الماء في حالته السائلة، ومن ثم يمكن لسطحه أن يستضيف الحياة. وقد صارت المنطقة المحيطة بالشمس التي يمكن أن يظل الماء فيها سائلًا تُعرف بالمنطقة الصالحة للسكنى.

كانت جولديلوكس تحب أن تكون الأشياء «مناسبة تمامًا». فأحد آنية العصيدة في كوخ الدببة الثلاثة كان ساخنًا أكثر مما ينبغي، والثاني كان باردًا أكثر مما ينبغي، أما الثالث فكان مناسبًا تمامًا؛ لذا تناولته. وفي الدور العلوي كان أحد الأسرَّة صلبًا أكثر مما ينبغي، والآخر لينًا أكثر مما ينبغي، أما الثالث فكان مناسبًا تمامًا؛ لذا نامت جولديلوكس عليه. وحين عادت الدببة الثلاثة إلى الكوخ اكتشفوا ليس فقط أن العصيدة قد أُكلت، بل إن جولديلوكس كانت نائمة في سريرهم. (لا أذكر نهاية القصة، لكن ما يظل لغزًا هو لماذا لم تأكل الدببة الثلاثة جولديلوكس، مع أنها من آكلات اللحوم وتحتل قمة السلسلة الغذائية.)

إن الصلاحية النسبية للسكنى لكل من الزهرة والمريخ ستثير اهتمام جولديلوكس، مع أن التاريخ الفعلي لهذين الكوكبين أكثر تعقيدًا من كونه مجرد طبق من العصيدة. فمنذ أربعة مليارات عام كانت المذنبات الغنية بالماء والكويكبات الغنية بالمعادن لا تزال تضرب أسطح الكواكب، وإن كان بمعدل أقل مما سبق. وخلال لعبة البلياردو الكونية هذه تحركت بعض الكواكب إلى الداخل عن مواضع تكوُّنها، بينما تحركت أخرى نحو مدارات أكبر. ومن بين عشرات الكواكب التي تكونت تحرك البعض في مدارات غير مستقرة وارتطم بالشمس أو المشتري، بينما طُرد البعض خارج المجموعة الشمسية تمامًا. وفي النهاية تبقَّت كواكب معدودة لها مدارات «مناسبة تمامًا» للبقاء لمليارات الأعوام.

استقرت الأرض في مدار يبعد حوالي ٩٣ مليون ميل عن الشمس. وعلى هذه المسافة تتعرض الأرض لمقدار طفيف للغاية من الطاقة يبلغ اثنين على المليار من الطاقة الإجمالية التي تشعها الشمس. وإذا فرضنا أن الأرض تمتص كل الطاقة التي تتلقاها من الشمس، فسيكون متوسط حرارة كوكبنا حوالي ٢٨٠ درجة كلفينية (٤٥ درجة فهرنهايتية)، وهو رقم متوسط بين درجتي حرارة الشتاء والصيف. وفي الضغط الجوي الطبيعي يتجمد الماء عند درجة حرارة ٢٧٣ كلفينية ويغلي عند ٣٧٣ درجة كلفينية، وبهذا نحن في موقع مناسب للغاية من الشمس بحيث يظل كل الماء الموجود على الأرض في الحالة السائلة.

لكن ليس بهذه السرعة. ففي العلم أحيانًا ما نحصل على الإجابة السليمة لأسباب خاطئة. ففي الواقع لا تمتصُّ الأرض سوى ثلثي مقدار الطاقة الذي يصلها من الشمس. أما الباقي فينعكس إلى الفضاء بواسطة سطح الأرض (خاصة المحيطات) وبواسطة

السحب. وإذا وضعنا نسبة الانعكاس في المعادلة، يهبط متوسط الحرارة الذي يصل إلى الأرض إلى حوالي ٢٥٥ درجة كلفينية؛ أي أقل من درجة تجمد الماء. لا بد أن هناك عاملًا ما يرفع متوسط درجة الحرارة إلى مستوى أكثر ملاءمة إذن.

لكن لنتمهل ثانية، فكل نظريات التطور النجمي تخبرنا بأنه منذ أربعة مليارات عام، حين كانت الحياة تكون من الحساء البدائي على الأرض، كانت الشمس أقل سطوعًا بمقدار الثلث عما هي عليه اليوم، وهو ما تسبب في هبوط حرارة الأرض أكثر وأكثر تحت درجة التجمد. ربما كانت الأرض في الماضي البعيد أقرب إلى الشمس. ومع ذلك، ففور انتهاء فترة القصف المبكرة لا توجد آلية معروفة لتغيير المدارات المستقرة جيئة وذهابًا داخل المجموعة الشمسية. ربما كان تأثير الاحتباس الحراري للغلاف الجوي للأرض أقوى فيما مضى، لكننا لا نعلم ذلك يقينًا. لكن ما نعرفه هو أن المناطق الصالحة للسكنى — كما تصورناها في الأساس — لها دور هامشي وحسب في وجود الحياة على أي كوكب داخلها من عدمه. وقد صار هذا جليًّا من حقيقة أننا عاجزون عن تفسير تاريخ الأرض على أساس نموذج المنطقة الصالحة للسكنى البسيط، كما تجلى أكثر من إدراكنا أن الماء أو غيره من السوائل لم يعتمد على حرارة الشمس للاحتفاظ بحالته السائلة.

تحوي المجموعة الشمسية مثالين بارزين يذكراننا دومًا بأن تبني «مقاربة المنطقة الصالحة للسكنى» عند البحث عن الحياة له مواطن قصور خطيرة. أحد المثالين موجود خارج النطاق الذي تستطيع الشمس فيه الحفاظ على الحالة السائلة للماء، ومع ذلك فهو يتمتع بمحيط غامر من المياه. أما الثاني، البارد للغاية لدرجة تمنعه من الاحتفاظ بالماء السائل، فيوفر إمكانية وجود سائل آخر، وهو سائل سام للبشر لكن قد تعتمد أشكال أخرى من الحياة عليه. ومن المفترض أن نحظى قبل مرور وقت طويل بفرصة استكشاف هذين المكانين عن قرب بمساعدة مركبات استكشافية آلية. دعونا الآن نراجع ما نعرفه عن القمرين يوروبا وتايتان.

تظهر على سطح القمر يوروبا — أحد أقمار المشتري الذي يصل حجمه إلى حجم قمرنا — شقوق متقاطعة تتغير بمعدل زمني قدره أسابيع أو شهور. من وجهة نظر خبراء الجيولوجيا وعلماء الكواكب، يعني هذا أن القمر يوروبا له سطح مكون بالكامل تقريبًا من الجليد، أشبه بغطاء قطبي جليدي عملاق، يطوق القمر بأسره. ويقودنا تغير شكل الصدوع والجداول على هذا السطح إلى نتيجة مذهلة: أن هذا الجليد يطفو فيما يبدو على

محيط يشمل القمر بأسره. وفقط من خلال افتراض وجود سائل أسفل السطح الجليدي يستطيع العلماء أن يفسروا على نحو مُرضٍ ما تم رصده، وذلك بفضل النجاحات المدوية لمركبتي الفضاء فوياجر وجاليليو. وبما أننا نرصد التغيرات في جميع أنحاء سطح القمر يوروبا، بوسعنا أن نخلص إلى وجود محيط سائل يشمل القمر بأسره أسفل هذا السطح.

أي سائل يمكن أن يكون هذا؟ ولماذا يظل في حالة سائلة؟ من المثير للإعجاب أن علماء الكواكب توصلوا إلى نتيجتين إضافيتين راسختين، وهما: أن هذا السائل هو الماء، وأنه يظل سائلًا بفضل تأثيرات المد التي يمارسها كوكب المشتري العملاق على القمر يوروبا. فلأن جزيئات الماء أكثر وفرة من النشادر أو الإيثان أو الكحول الميثيلي، من المرجح أن يكون الماء هو السائل الكامن أسفل السطح الجليدي للقمر يوروبا، كما أن وجود هذا الماء المجمد يعني بالمثل أن هناك المزيد من الماء موجود بالقرب. لكن كيف يمكن أن يظل الماء سائلًا، مع أن درجة الحرارة الآتية من الطاقة الشمسية في منطقة كوكب المشتري لا تتجاوز ١٢٠ كلفينية (−١٥٠ درجة مئوية)؟ تظل درجة حرارة الأجزاء الداخلية من القمر يوروبا مرتفعة نسبيًّا؛ لأن قوى المد الخاصة بكل من المشتري والقمرين الكبيرين المجاورين — القمر أيو والقمر جانيميد — تحرك الصخور الموجودة داخل القمر يوروبا على نحو متصل كلما تغير موضعه بالنسبة لجيرانه. وفي جميع الأوقات تستشعر جوانب القمرين أيو ويوروبا المواجهة للمشتري جاذبيةَ هذا الكوكب العملاق بشكل أقوى من الجوانب الأخرى البعيدة عنه. هذه التفاوتات في القوى تسبب استطالة الأقمار الصلبة بشكل طفيف في الاتجاه المواجه للمشتري. لكن مع تغير المسافة بين الأقمار والمشتري خلال مداراتها تتغير تأثيرات المد الخاصة بالمشتري — أي فارق القوى المبذول على الجانب القريب والجانب البعيد — بالمثل، وهو ما يؤدي إلى حدوث تغيرات صغيرة في أشكالها المحرفة بالفعل. هذا التحريف المتغير يرفع حرارة الأجزاء الداخلية للأقمار. ومثل كرة الإسكواش أو التنس التي تتعرض للانبعاج بفعل الضرب المتواصل، فإن أي نظام يمر بضغوط هيكلية متواصلة ترتفع درجة حرارة أجزائه الداخلية.

إن القمر أيو — البعيد عن الشمس بمسافة تضمن له في ظروف أخرى أن يكون متجمدًا بالكامل — يستحق بفضل مستوى الضغوط الذي يمر به لقب أكثر مناطق المجموعة الشمسية نشاطًا من الناحية الجيولوجية؛ إذ يتسم بالبراكين العنيفة والصدوع التي تملأ سطحه وحركة صفائحه التكتونية. شبه البعض القمر أيو في وقتنا الحالي

بكوكب الأرض في بدايته، حين كان متقدًا نتيجة عملية تكوُّنه. وداخل القمر أيو ترتفع درجة الحرارة إلى الدرجة التي تدفع البراكين لإطلاق مركبات الكبريت والصوديوم خبيثة الرائحة لارتفاع أميال عن سطح القمر بشكل متواصل. في حقيقة الأمر، يتسم القمر أيو بدرجة حرارة أعلى مما يسمح بوجود الماء السائل، لكن يوروبا، الذي يمر بقدر أقل من التقلب عن أيو لأنه أبعد عن المشتري، يسخن بقدر أكثر تواضعًا، وإن كان مهمًّا. بالإضافة لذلك، يضع الغطاء الجليدي الذي يغطي القمر يوروبا بالكامل قدرًا من الضغط على السائل الموجود أسفله، وهو ما يمنع الماء من التبخر ويمكِّنه من الوجود لمليارات الأعوام دون أن يتجمد. وعلى حد علمنا، فقد ولد القمر يوروبا بمياهه وطبقته الجليدية، وحافظ على هذا المحيط، في درجة حرارة أعلى قليلًا من درجة التجمد، على مدار أربعة مليارات ونصف المليار عام من تاريخ الكون.

لهذا ينظر علماء الأحياء الفلكية إلى المحيط الذي يغطي القمر يوروبا كهدف أساسي للبحث. لا يعلم أحد سُمك الغطاء الجليدي، الذي قد يتراوح من عشرات الياردات إلى نصف الميل أو أكثر. وفي ضوء خصوبة الحياة داخل محيطات الأرض، يظل يوروبا أكثر أماكن المجموعة الشمسية التي تَعِدُ بوجود حياة خارج الأرض. تخيل الذهاب لصيد الأسماك عبر الفتحات الجليدية هناك. في الواقع، بدأ المهندسون والعلماء في مختبر الدفع النفاث بكاليفورنيا في وضع تصوراتهم لمسبار فضائي يهبط على هذا القمر، ثم يجذُّ (أو يقطع) فتحة في الجليد، ثم يسقط كاميرا تصوير للأعماق لاختلاس النظر إلى أشكال الحياة البدائية التي قد تسبح أو تزحف هناك.

إن كلمة «بدائية» تلخص توقعاتنا إلى حدٍّ بعيد؛ لأن أي شكل مفترض من أشكال الحياة هناك لن يتاح له إلا قدر محدود من الطاقة. ومع ذلك، فاكتشاف كميات ضخمة من الكائنات على عمق الميل أو يزيد تحت الصخور البازلتية لولاية واشنطن، تعيش بالأساس على الحرارة المنبعثة من باطن الأرض، يعني أننا قد نجد في يوم ما أن محيطات القمر يوروبا عامرة بكائنات تختلف عن أي كائنات على الأرض. لكن يظل السؤال الملح هنا هو: هل سنسمي هذه الكائنات بالكائنات اليوروبية أم الأوروبية؟

يمثل المريخ والقمر يوروبا الهدفين الأول والثاني عند البحث عن حياة خارج كوكب الأرض وضمن المجموعة الشمسية. أما الهدف الثالث البارز فيقبع على بعد ضعف المسافة التي بين الشمس والمشتري وأقماره. لزحل قمر واحد عملاق، اسمه تايتان، وهو

يشترك مع قمر المشتري جانيميد في كونهما أكبر أقمار المجموعة الشمسية قاطبة. يملك تايتان — بحجمه الذي يبلغ حجم قمرنا مرة ونصف المرة — غلافًا جويًّا سميكًا، وهي السمة التي لا يضاهيه فيها أي قمر آخر (أو حتى كوكب عطارد، الذي لا يزيد في الحجم كثيرًا عن القمر تايتان، لكنه أقرب بكثير من الشمس، حتى إن حرارة الشمس تبخر أي غازات على سطحه). وعلى العكس من الغلاف الجوي للمريخ والزهرة، يتكون الغلاف الجوي لتايتان — الأكثر سمكًا من الغلاف الجوي للمريخ بعشرات المرات — بالأساس من جزيئات النيتروجين، كما هو الحال مع الأرض. داخل غاز النيتروجين الشفاف يطفو عدد مهول من جسيمات الهباء الجوي، وهي مزيج دائم من جزيئات الضباب والدخان، تحجب سطح القمر عن أنظارنا طوال الوقت. نتيجة لهذا افترض البعض إمكانية وجود حياة على تايتان. لقد قسنا درجة حرارة القمر من خلال موجات الراديو (القادرة على اختراق الغازات والهباء الجوي) المرتدة عن السطح. تقارب درجة حرارة سطح القمر تايتان ٩٤ درجة كلفينية (−١٧٩ درجة مئوية)؛ أي أقل بكثير من الدرجة التي تسمح بوجود ماء سائل، لكنها تعد درجة حرارة مثالية للإيثان السائل، وهو مركب من الهيدروجين والكربون معروف لمن يعملون في تكرير منتجات البترول. وعلى مدار عقود تخيَّل علماء الأحياء الفلكية وجود بحيرات من الإيثان على القمر تايتان عامرة بالكائنات التي تطفو وتقتات وتتقابل وتتناسل.

والآن، في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، حل الاستكشاف محل التخمين. غادرت مهمة كاسيني-هويجنز إلى زحل — وهي نتاج التعاون بين ناسا وإيسا — الأرض في أكتوبر من عام ١٩٩٧. وبعدها بحوالي سبع سنوات، بعد تلقي دفعات جذبوية من الزهرة (مرتين) والأرض (مرة واحدة) والمشتري (مرة واحدة)، وصلت المركبة الفضائية إلى كوكب زحل، حيث أشعلت صواريخها كي تدور حول الكوكب ذي الحلقات.

جهز العلماء الذين صمَّموا المهمة المسبارَ هويجنز بحيث يفصل نفسه عن مركبة الفضاء كاسيني في أواخر عام ٢٠٠٤، بحيث يخترق للمرة الأولى السحب المعتمة المحيطة بالقمر تايتان ويصل إلى السطح، بالاستعانة بدرع حراري لتجنب حرارة الاحتكاك الناجمة عن المرور السريع من طبقات الغلاف الجوي العليا، وسلسلة من مظلات الهبوط للإبطاء من سرعة المسبار في طبقات الغلاف الجوي الدنيا. بُنيت ست أدوات داخل المسبار هويجنز لقياس حرارة الغلاف الجوي لتايتان وكثافته وتركيبه الكيميائي، ولإرسال الصور إلى الأرض عبر مركبة الفضاء كاسيني. وقت كتابة هذه السطور لا

يسعنا سوى انتظار وصول هذه البيانات والصور لمعرفة ما تخبرنا به عن اللغز القابع تحت سحب تايتان. ليس من المرجح أن نرى الحياة نفسها، إن كان لها وجود بأي صورة على هذا القمر القصي، لكننا نتوقع أن نحدد هل الظروف عليه مواتية لظهور الحياة من خلال توفير بحيرات وبرك يمكن أن تنشأ بها الحياة وتزدهر. وعلى أقل تقدير، قد نتوقع أن نعرف أنواع الجزيئات المختلفة الموجودة على سطح تايتان أو بالقرب من سطحه، وهو ما قد يلقي الضوء على الكيفية التي نشأت بها الحياة على الأرض وفي أرجاء المجموعة الشمسية.

إذا كان الماء ضروريًّا للحياة، فهل علينا أن نقتصر في بحثنا على الكواكب والأقمار التي يمكن للماء أن يتراكم على سطحها الصلب بكميات وفيرة وحسب؟ على الإطلاق. فجزيئات الماء — إلى جانب عدد كبير من المواد الكيميائية المألوفة الأخرى، كالنشادر والإيثان والكحول الإيثيلي — تظهر بشكل روتيني في السحب الغازية النجمية الباردة. وتحت ظروف خاصة من الحرارة المنخفضة والكثافة المرتفعة، يمكن حث مجموعة من جزيئات الماء على أن تحول الطاقة وتنقلها من نجم قريب إلى شعاع من الموجات الميكرونية المكثفة عالية الشدة. الفيزياء الذرية لهذه الظاهرة تشبه ما تفعله أشعة الليزر بالضوء العادي. لكن في هذه الحالة يكون الاسم الذي يطلق على هذه العملية هو أشعة الميزر، بمعنى التضخيم الميكروني بفعل انبعاثات الإشعاع المستحثة. إن الماء ليس موجودًا وحسب في كل مكان بالكون، لكنه يشع علينا في بعض الأحيان أيضًا. والمشكلة الكبرى التي ستواجهها أي حياة محتملة في السحب النجمية لن تتمثل في نقص المواد الخام للحياة، بل في الكثافة المنخفضة للغاية للمادة، التي تقلل بشكل هائل من المعدل الذي تصطدم به الجزيئات ويتفاعل بعضها مع بعض. وإذا كانت الحياة احتاجت ملايين الأعوام كي تنشأ على كوكب كالأرض، فقد تحتاج إلى تريليونات الأعوام كي تنشأ في الكثافات الأقل بكثير، وهو وقت أكبر بكثير من عمر الكون حتى الآن.

باستكمال بحثنا عن الحياة في المجموعة الشمسية، قد يبدو أننا انتهينا من جولتنا خلال الأسئلة الجوهرية المرتبطة بأصولنا الكونية. ومع ذلك، لا يسعنا ترك هذا الميدان دون أن نلقي نظرة على قضية البدايات العظيمة التي تنتظرنا في المستقبل؛ بداية تواصلنا مع الحضارات الأخرى. لا يأسر موضوع فلكي آخر خيال العامة أكثر من هذا، ولا يقدم أي

موضوع آخر فرصة أفضل لجمع كل ما تعلمناه عن الكون في كل متكامل. والآن وقد صرنا نعرف القليل عن الكيفية التي قد تبدأ بها الحياة في العوالم الأخرى، لنتدارس فرص إرضاء تلك الرغبة الإنسانية التي لا تقل عن سواها؛ الرغبة في العثور على كائنات أخرى في الكون قد نستطيع التحاور معها.

الفصل السابع عشر

البحث عن الحياة في مجرة درب التبانة

رأينا أنه داخل مجموعتنا الشمسية يمثل المريخ والقمران يوروبا وتايتان أفضل آمالنا في اكتشاف حياة خارج الأرض، سواء على صورة كائنات حية أو حفريات. فهذه الأجرام الثلاثة تمثل أفضل الفرص للعثور على الماء أو غيره من المواد القادرة على توفير المحلول السائل الذي يمكن أن تلتقي فيه الجزيئات التي ينتج عنها حياة.

ولأن هذه الأماكن الثلاثة فقط هي التي من المرجح أنها تملك بركًا أو أحواضًا، يقصر أغلب علماء الأحياء الكونية آمالهم في العثور على حياة في المجموعة الشمسية على اكتشاف أشكال من الحياة البدائية في مكان أو أكثر منها وحسب. لكن للمتشائمين حجة قوية أيضًا، قد تتأكد أو تُدحض في يوم ما من خلال الاستكشاف الفعلي، مفادها أننا حتى لو اكتشفنا أن الظروف ملائمة للحياة في أحد هذه الأماكن الثلاثة أو جميعها، فمن الممكن أن تكون الحياة نفسها غائبة بالكامل. وفي أي من الحالتين، ستكون لنتائج أبحاثنا على كل من المريخ والقمرين يوروبا وتايتان أهمية بالغة في الحكم على مدى انتشار الحياة في الكون. وبالفعل يتفق المتفائلون والمتشائمون على نتيجة واحدة مفادها أننا إذا كنا نأمل في العثور على حياة متقدمة — حياة تتكون من كائنات أكبر من الكائنات البسيطة وحيدة الخلية التي ظهرت في بداية الحياة الأرضية وهيمنت عليها — فعلينا البحث فيما وراء مجموعتنا الشمسية، على الكواكب التي تدور حول نجوم أخرى خلاف الشمس.

فيما مضى كان وجود مثل هذه الكواكب لا يتجاوز التخمين. أما الآن — بعد العثور على ما يزيد عن مائة كوكب خارج المجموعة الشمسية، والمشابهة في الأساس للمشتري وزحل — يمكننا التنبؤ بثقة بأن الزمن والمشاهدات الأكثر دقة وحدهما هما ما يفصلاننا عن اكتشاف كواكب مشابهة للأرض. ويبدو أن السنوات الأخيرة من القرن العشرين

مثلت الفترة التاريخية المميزة التي حصلنا فيها على أدلة حقيقية على وجود وفرة من العوالم الصالحة للسكنى في أرجاء الكون. وبهذا يكون لأول شرطين في معادلة دريك، اللذين يقيسان معًا عدد الكواكب التي تدور حول شموس تعيش لمليارات الأعوام، قيمة مرتفعة وليس قيمة منخفضة. لكن بالنسبة للشرطين التاليين، اللذين يصفان إمكانية العثور على كواكب مناسبة للحياة وإمكانية ظهور الحياة بالفعل على هذه الكواكب، فيظلان غير محددين، كما كان الحال قبل اكتشاف الكواكب الموجودة خارج المجموعة الشمسية. ومع هذا، فمحاولاتنا لتقدير هاتين الإمكانيتين تبدو وكأنها ترتكز على أسس أكثر صلابة عما هو الحال مع الشرطين الأخيرين: إمكانية تطور الحياة في كوكب آخر بحيث ينتج عنها حضارة ذكية، ونسبة المتوسط الإجمالي للوقت الذي ستعيشه هذه الحضارة إلى عمر مجرة درب التبانة.

بخصوص أول خمسة شروط في معادلة دريك، يمكننا الاستعانة بمجموعتنا الشمسية وبأنفسنا كمثال نموذجي، مع أننا سنضطر دومًا للجوء إلى مبدأ كوبرنيكوس لتجنب قياس الكون على أنفسنا، بدلًا من أن نفعل العكس. لكن حين نصل إلى الشرط الأخير في المعادلة، ونحاول تقدير متوسط عمر إحدى الحضارات فور اكتسابها للقدرات التكنولوجية التي تمكنها من إرسال رسائلها عبر الفضاء النجمي، فسنفشل في الوصول لإجابة، حتى لو أخذنا الأرض كمثال؛ لأننا لم نحدد بعد العمر الذي ستصل إليه حضارتنا نفسها. إننا نملك القدرة على إرسال إشارات نحو الفضاء النجمي منذ قرابة القرن، منذ بدأت أجهزة إرسال موجات الراديو في بعث الرسائل عبر محيطات الأرض. ويعتمد استمرار حضارتنا، لقرن قادم أو لألف عام أو لآلاف القرون، على عوامل ليس بوسعنا التنبؤ بها، بالرغم من وجود العديد من الشواهد التي لا تبشر باستمرار حضارتنا لوقت طويل.

إن التساؤل: «هل مصيرنا يرتبط بمتوسط عمر مجرة درب التبانة؟» يأخذنا إلى بُعد آخر من التخمين، وبهذا قد يُحكم على الشرط الأخير في معادلة دريك، الذي يؤثر مباشرة على النتيجة شأن غيره من الشروط، بأن يظل غير معروف. ووفق أكثر التقديرات تفاؤلًا، إذا احتوت أغلب المجموعات الشمسية على الأقل على جرم واحد صالح للحياة، وإذا كانت الحياة تظهر في نسبة عالية من هذه الأماكن الصالحة للحياة (لنقل العُشر)، وإذا ظهرت حضارات ذكية في عُشر هذه الأماكن التي ظهرت بها الحياة، فإنه في نقطة

ما من تاريخ نجوم مجرة درب التبانة البالغ عددها ١٠٠ مليار نجم، يمكن لمليار مكان أن ينتج حضارات ذكية. وهذا العدد المهول ينبع، بالطبع، من حقيقة أن مجرتنا تحتوي على نجوم عديدة، أغلبها يشبه شمسنا. لكن من وجهة النظر المتشائمة للموقف، يكفي ببساطة تغيير كل قيمة حددناها من العُشر إلى واحد على عشرة آلاف. وفي هذه الحالة سيتحول المليار مكان إلى ألف مكان؛ أي أقل بنسبة واحد على المليون من الرقم الأول.

هذا يُحدث فارقًا كبيرًا. افترض أن أي حضارة عادية، استحقت أن يُطلق عليها اسم حضارة بفعل امتلاكها القدرة على التواصل عبر الفضاء النجمي، تستمر في المتوسط لعشرة آلاف عام؛ حوالي جزء على المليون من عمر مجرة درب التبانة. من وجهة النظر المتفائلة سيتمخض مليار مكان عن حضارات في مرحلة ما من تاريخه، وبهذا في أي وقت بعينه، من المفترض وجود حوالي ألف حضارة مزدهرة. لكن على العكس، ترى وجهة النظر المتشائمة أن في أي وقت بعينه، لن يوجد سوى حوالي ٠٫٠٠١ حضارة، وهو ما يجعلنا النقطة الوحيدة المتفردة التي ترتفع عن القيمة المتوسطة.

أي التقديرين من المرجح أنه يقترب من القيمة الحقيقية؟ في العلم، لا شيء مقنع أكثر من الدليل التجريبي. وإذا كنا نأمل في تحديد متوسط عدد الحضارات في مجرة درب التبانة، فإن السبيل العلمي الأفضل سيكون قياس عدد الحضارات الموجودة في وقتنا الحالي. والطريقة المباشرة التي يمكن بها إنجاز هذا العمل الفذ هي بمسح المجرة بأسرها، بالطريقة التي يفضلها فريق المسلسل التليفزيوني «ستار تريك»، بحيث نسجل عدد الحضارات التي نصادفها ونوعها، هذا بالطبع إذا عثرنا على أي منها. (إن إمكانية خلو مجرتنا من أي مخلوقات غريبة تجعل المسلسل التليفزيوني مملًّا.) لكن للأسف، يقع هذا المسح خارج نطاق قدراتنا التكنولوجية الحالية وقيود الميزانية.

إضافة إلى ذلك، سيستغرق مسح المجرة بأسرها ملايين الأعوام، إن لم يكن أكثر. فكر فيما سيبدو عليه المسلسل التليفزيوني الذي يعرض لعملية مسح الفضاء النجمي إذا اقتصر فقط على ما نعرفه عن الواقع المادي. ستظهر الساعة التي يستغرقها عرض المسلسل طاقم الممثلين وهم يشكون ويتجادلون، وهم مدركون أنهم قطعوا مسافة طويلة لكن لا يزال أمامهم مسافة أطول. قد يعلق أحدهم قائلًا: «لقد قرأنا كل المجلات. وقد مللنا رفقة بعضنا بعضًا، كما أنك — سيادة القائد — شخص مزعج بحق.» وبعد ذلك، ينخرط جزء من الطاقم في الغناء لأنفسهم بينما يشرف الآخرون على الجنون، وتذكرنا لقطة طويلة بأن المسافة إلى النجوم الأخرى في درب التبانة تعادل أضعاف المسافة بين الكواكب داخل مجموعتنا الشمسية بملايين المرات.

في الواقع، هذه النسبة تصف فقط المسافة إلى أقرب النجوم إلى الشمس، وهي البعيدة للغاية حتى إن ضوءها يحتاج سنوات عديدة حتى يصلنا. وبهذا ستحتاج الجولة الكاملة حول درب التبانة إلى عشرة آلاف ضعف لهذا الوقت. تتعامل أفلام هوليوود التي تصور الرحلات الفضائية بين النجوم مع هذه القضية المهمة إما بتجاهلها («غزو خاطفي الأجساد» ١٩٥٦ و١٩٧٨)، أو بافتراض أن الصواريخ المحسنة أو فهمنا الأفضل للفيزياء سيتكفل بالأمر («حرب النجوم» ١٩٧٧)، أو بتقديم طرق مثيرة للاهتمام على غرار تجميد رواد الفضاء حتى يمكنهم تحمل الرحلات الفضائية الطويلة («كوكب القرود» ١٩٦٨).

كل هذه السبل تتمتع بالجاذبية من ناحية ما، وبعضها يقدم لنا أفكارًا إبداعية. فقد نحسن صواريخنا بالفعل، التي تصل الآن إلى سرعات لا تتجاوز واحدًا على عشرة آلاف من سرعة الضوء، تلك السرعة التي تعد أقصى سرعة نأمل في التحرك بها وفق معارفنا الحالية عن الفيزياء. وحتى عند التحرك بسرعة الضوء سيستغرق السفر إلى أقرب النجوم سنوات عديدة، كما سيستغرق السفر عبر مجرة درب التبانة قرابة ألف قرن. تبدو فكرة تجميد رواد الفضاء واعدة إلى حدٍّ ما، لكن ما دام الموجودون على الأرض، الذين يُفترض أنهم سيدفعون تكلفة الرحلة، هم من يحددون قدر المال الذي سينفق على الرحلة، فسيظل الوقت الطويل المنقضي حتى عودة الرواد عائقًا أمام التمويل اليسير. وبسبب اهتماماتنا المتقلبة يبدو أن أفضل سبيل لإجراء التواصل مع الحضارات غير الأرضية — هذا إن وجدت من الأساس — موجود هنا على الأرض. فكل ما نحتاج لعمله هو الانتظار حتى يتواصلوا هم معنا. وهذا سيكلفنا أقل بكثير وقد يوفر المكافآت الفورية التي يتوق مجتمعنا لها بشدة.

لكن ثمة مشكلة وحيدة: لماذا تتواصل هذه الحضارات معنا؟ بمعنى: ما الشيء المميز في كوكبنا الذي يجعلنا نستحق اهتمام الحضارات غير الأرضية، بافتراض أنها موجودة؟ في هذه النقطة أكثر من أي نقطة أخرى، انتهك البشر مبدأ كوبرنيكوس. فإذا سألت أي شخص عن سبب استحقاق الأرض للدراسة، فمن المرجح أن يجيبك بنظرة غاضبة حادة. إن جميع التصورات الخاصة بالكائنات الفضائية التي تزور الأرض، إلى جانب قدر ليس باليسير من المعتقدات الدينية، تقوم على النتيجة البديهية غير المنطوقة التي تفيد بأن كوكبنا ونوعنا البشري يحتل مكانة عالية على قائمة الأعاجيب الكونية، حتى إننا لا نحتاج لدليل لدعم قناعتنا الكونية العجيبة بأن ذرة الغبار التي نعيش

عليها، والتي تهيم في ضواحي مجرة درب التبانة، تبرز كمنارة مجرية لا تستحق انتباه الكون بأسره وحسب، بل تتلقى هذا الانتباه بالفعل.

هذه النتيجة تنبع من حقيقة أن الموقف الفعلي يبدو معكوسًا حين ننظر إلى الكون من الأرض. فالكواكب تبدو ذات أحجام كبيرة، بينما تبدو النجوم كنقاط دقيقة من الضوء. ومن وجهة النظر العادية يبدو هذا منطقيًّا للغاية. فنجاحنا في البقاء والتكاثر — شأن غيرنا من الكائنات — ليس له علاقة تقريبًا بالكون المحيط بنا. ومن بين الأجرام الكونية كافة، الشمس وحدها — والقمر بقدر أقل — هي التي تؤثر على حياتنا، كما أن حركة الشمس والقمر تتكرر بانتظام تام حتى إنهما يبدوان جزءًا من المشهد الأرضي. ومن البديهي أن يصور وعينا البشري، المتكون على الأرض من التقابل لمرات لا تحصى مع غيرنا من الكائنات الأرضية والتعرض للأحداث الأرضية، المشهد خارج الأرض كستار خلفي بعيد يقبع وراء الحدث الأهم الذي يجري على خشبة المسرح الرئيسية. ويكمن خطؤنا في افتراض أن الستار الخلفي يعتبرنا هو الآخر مركزًا للنشاط.

ولأن كل فرد منا تبنَّى هذا التوجه الخاطئ، قبل أن تملك عقولنا الواعية أي سيطرة أو تحكم على أنماط تفكيرنا بوقت طويل، يستحيل علينا التخلص منه بشكل تام عند محاولة فهم للكون، حتى حين نختار أن نفعل هذا. إن من يطبقون مبدأ كوبرنيكوس عليهم أن يظلوا متيقظين لهمهمات عقولنا البدائية، التي تؤكد لنا أننا نشغل مركز الكون، وهو ما يعني توجيه الانتباه لنا بشكل طبيعي.

حين نتدبر المشاهدات المزعومة للزوار الفضائيين لكوكبنا، علينا الوعي لمفهوم مغلوط آخر يقبع في الفكر البشري، وهو خطأ شائع ومضلل شأنه شأن تحاملنا ضد مبدأ كوبرنيكوس. فالبشر يثقون بذاكرتهم أكثر بكثير مما يسوغه الواقع. ونحن نفعل هذا بدافع من الأسباب المتعلقة بقيمة البقاء التي تدفعنا بالمثل لاعتبار الأرض مركزًا للكون. فالذاكرة تسجل ما ندركه، ونحن نحسن صنعًا عندما ننتبه لهذا التسجيل إذا كنا نسعى للتوصل إلى نتائج من أجل المستقبل.

الآن وقد صرنا نملك وسائل لتسجيل الماضي، بتنا ندرك أنه لا يسعنا الاعتماد على الذكريات الفردية في الجوانب المهمة للمجتمع. إننا نسجل النقاشات النيابية والقوانين بشكل مكتوب، ونصور مسارح الجريمة بالفيديو، ونصنع تسجيلات صوتية سرًّا للأنشطة الإجرامية، وذلك لأننا ندرك أن هذه الوسائل تسجل الأحداث بشكل دائم وعلى نحو أفضل مما تفعل عقولنا. لكن يتبقى استثناء وحيد لهذه القاعدة. فنحن نستمر في

اعتبار شهادات شهود العيان دقيقة، أو على الأقل كأدلة مُثبِتة، في الإجراءات القانونية. ونحن نفعل هذا مع أن الاختبار تلو الاختبار يثبت لنا أن كل فرد منا — مع سلامة النوايا — يفشل في تذكر الأحداث بدقة، خاصة تلك المتعلقة بالحوادث غير المعتادة والمثيرة، وهو الحال دومًا في القضايا المهمة بما يكفي بحيث تحتاج للمحاكمة. إن نظامنا القانوني يقبل بشهادات شهود العيان؛ لأن هذا تقليد متبع منذ وقت بعيد، وبسبب ما لهذا الأمر من صدى عاطفي، والأكثر أهمية أنها عادة ما تمثل الدليل المباشر الوحيد على الأحداث الماضية. ومع هذا، فكل ادعاء يقال في ساحة إحدى المحاكم بأن «هذا هو الرجل الذي كان يمسك بالمسدس!» لا بد أن تجري موازنته في مقابل القضايا الكثيرة الأخرى التي كان المتهمون فيها أبرياء، بالرغم من إيمان الشهود الراسخ بالعكس.

إذا وضعنا هذه الحقائق في الاعتبار عند تحليل المشاهدات المزعومة للأجسام الطائرة المجهولة، يمكننا أن نتبين على الفور احتمال الخطأ الكبير. تعد مشاهدات الأجسام الطائرة المجهولة حوادث عجيبة بطبيعتها، وهو ما يجعل المشاهد يفرق بين الأجسام المعروفة وغير المعروفة استنادًا على خلفيته التي لم تُختبر إلا نادرًا عن الأجسام الطائرة، وفي المعتاد يكون مطلوبًا منه التوصل إلى نتيجة سريعة قبل أن تختفي هذه الأجسام بسرعة. وإذا أضفنا إلى هذا الشحنة النفسية النابعة من إيمان الفرد بأنه شهد حدثًا غير معتاد بالمرة، فسيكون من العسير العثور على مثال أفضل من هذا لموقف ينتج عنه ذكريات خاطئة.

ما الذي يسعنا فعله للحصول على بيانات عن مشاهدات الأجسام الطائرة المجهولة أكثر دقة من إفادات شهود العيان؟ في الخمسينيات أراد الفيزيائي الفلكي جيه ألين هاينيك — الذي كان وقتها من كبار مستشاري القوات الجوية فيما يخص الأجسام الطائرة المجهولة — أن يوضح هذه القضية من خلال وضع كاميرا تصوير دقيقة في جيبه، مؤكدًا على أنه لو حدث أن شاهد أحد الأجسام الطائرة المجهولة، فسيستخدم الكاميرا للحصول على دليل علمي صحيح؛ لأنه كان يعلم أن إفادات شهود العيان لا يمكن الاعتماد عليها كدليل علمي. ومع الأسف، مكن التقدم التكنولوجي منذ ذلك الوقت من إنتاج صور وتسجيلات فيديو مزيفة يستحيل تقريبًا تفريقها عن الحقيقية، وبهذا لن تمكننا خطة هاينيك من وضع ثقتنا في الأدلة المصورة الداعمة لمشاهدات الأجسام الطائرة المجهولة. وفي الواقع، حين نفكر في التفاعل بين قوة الذاكرة الهشة وقدرة الإبداع لدى المحتالين، سيكون من العسير أن نصمم اختبارًا للتفريق بين الحقيقة والخيال في أي من مشاهدات الأجسام الطائرة المجهولة.

وحين نتحول للظاهرة الأحدث الخاصة بالاختطاف على يد كائنات فضائية، تتجلى قدرة النفس البشرية على تحريف الواقع بشكل أكبر. فمع عدم إمكانية الحصول على أرقام مؤكدة، فإنه في العقود الأخيرة آمن كثير من الأشخاص بأنهم اختُطفوا على متن سفن فضائية، وخضعوا للفحص، عادة بطرق مهينة لأقصى حد. من المنظور الهادئ، إن مجرد التفوه بهذا الزعم يكفي لدحضه. فالتطبيق المباشر لمبدأ شفرة أوكام — الذي ينادي بالأخذ بأبسط التفسيرات التي تناسب الحقائق المزعومة — يقودنا لأن نخلص إلى أن حوادث الاختطاف هذه متخيلة، ولم تحدث فعلًا. ولأن كل حوادث الاختطاف المزعومة هذه تقريبًا تحدث في الليل، وأغلبها أثناء النوم، فإن التفسير الأرجح متعلق بحالة الغشية التي تمثل الحد الفاصل بين الاستيقاظ والنوم. لكثير من الناس تحدث في هذه الحالة عدد من الهلاوس السمعية والبصرية، وفي بعض الأحيان «أحلام يقظة» يشعر فيها الفرد أنه واعٍ لما حوله لكنه عاجز عن الحركة. هذه التأثيرات تمر من مرشحات عقولنا وتتحول لما يبدو وكأنه ذكريات حقيقية قادرة على غرس إيمان لا يتزعزع بصحتها.

قارن هذا التفسير لحوادث الاختطاف على يد كائنات فضائية مع التفسير البديل؛ الذي يقضي بأن زوارًا من خارج الأرض اختصوا الأرض بزيارتها ووصلوا بأعداد تكفي لاختطاف عشرات الآلاف من البشر، لكن لوقت قصير وفيما يبدو من أجل فحصهم عن كثب (لكن السؤال هنا: هل لم يعرفوا بالفعل ما يريدون من حوادث الاختطاف السابقة؟ أيضًا، أليس بوسعهم اختطاف عدد كافٍ من الجثث للتعرف على تشريح الإنسان بالتفصيل؟) بعض القصص تفيد بأن الفضائيين يستخلصون بعض المواد من المختطفين، أو يخصبون ضحاياهم من النساء، أو يغيرون طرق تفكير ضحاياهم لتجنب التعرف عليهم لاحقًا (لكن في هذه الحالة، ألم يكن بمقدورهم محو ذكريات الاختطاف بالكامل؟) من المستحيل نفي هذه التأكيدات قطعيًّا، تمامًا مثلما لا يسعنا استبعاد احتمال أن تكون الكائنات الفضائية هي التي كتبت الكلمات التي تقرؤها الآن في محاولة منها لتسكين القراء من البشر بإحساس بالأمان الزائف من شأنه أن يساند خطة هذه الكائنات للسيطرة على عالمنا أو على الكون بأسره. بدلًا من ذلك، عن طريق الاعتماد على قدرتنا على تحليل المواقف بشكل عقلاني، والتفريق بين التفسيرات الأكثر ترجيحًا وتلك الأقل ترجيحًا، يمكننا أن نخلص إلى أن فرضية اختطاف البشر على يد كائنات فضائية غير مرجحة بشكل كبير.

إحدى النتائج تبدو عصية على الدحض من قبل المتشككين في وجود الأجسام الطائرة المجهولة والمؤمنين بها على حدٍّ سواء. فإذا كانت الكائنات الفضائية تزور الأرض

بالفعل، فهي بالتأكيد تدرك أننا نملك قدرات عالمية على نشر المعلومات والترفيه، إن لم يكن التمييز بين الاثنين كذلك. وهنا يكون القول إن هذه الوسائل متاحة كي تستخدمها الكائنات الفضائية الراغبة في ذلك من البديهيات. فسوف تحظى هذه الكائنات بإذن فوري (بالتفكير في الأمر، قد لا تحتاجه حتى)، وستجعل وجودها محسوسًا في دقيقة واحدة، إذا رغبت في ذلك. إن غياب الكائنات الفضائية عن شاشات التليفزيون يشهد إما بعدم وجودها على سطح الأرض أو بعدم رغبتها في الكشف عن وجودها أمام ناظرينا؛ مشكلة «الخجل». التفسير الثاني يستثير لغزًا مثيرًا للاهتمام. فإذا اختارت الكائنات الفضائية ألا يتم الكشف عنها، وإذا امتلكت تكنولوجيا تفوقنا بمراحل، وهو ما تشهد عليه رحلتهم عبر الفضاء، فلماذا لم تنجح في خطتها؟ لماذا علينا أن نتوقع امتلاك أي دليل — مشاهدات بصرية أو دوائر محاصيل أو أهرامات بنتها كائنات فضائية أو ذكريات عن حوادث اختطاف — إذا كانت هذه الكائنات تفضل ألا نملك أي دليل؟ لا بد أنها تعبث بتفكيرنا، وتستمتع بلعبة القط والفأر هذه. ومن المحتمل أنهم يستغلون قادتنا كذلك، وهي النتيجة التي تضع الكثير من مناورات السياسة والترفيه في دائرة الضوء.

تؤكد ظاهرة الأجسام الطائرة المجهولة على جانب مهم من وعينا. فمع إيماننا بأن كوكبنا هو مركز الوجود، وأن بيئتنا النجمية ما هي إلا زخرف لعالمنا، وليس العكس، فإننا لا نزال نملك رغبة قوية في التواصل مع الكون، وهذه الرغبة تتجسد في أنشطة عقلية كالإيمان بوجود كائنات فضائية. تعود جذور هذا التوجه إلى الأيام التي كان فيها الفارق واضحًا بين السماء في الأعلى والأرض في الأسفل، بين الأشياء التي يمكننا لمسها والشعور بها والأجرام التي كانت تتحرك وتضيء لكنها تظل بعيدة عن متناولنا. ومن هذه الفوارق فرقنا بين الجسد الأرضي والروح الكونية، بين ما هو دنيوي وما هو إعجازي، بين الطبيعي والخارق للطبيعة. وقد وقفت الحاجة لوجود جسر عقلي يربط جانبي الواقع هذين وراء العديد من مساعينا لخلق صورة متجانسة لوجودنا. وحين بيَّن لنا العلم الحديث أننا في الأصل غبار نجمي، زلزل هذا من طرق تفكيرنا، وهو الأمر الذي نناضل كي نتعافى منه إلى الآن. إن وجود الأجسام الطائرة المجهولة يوحي بوجود رسل قادمين من جانب آخر للوجود، زوار أعلى مكانة يعرفون جيدًا ما يفعلونه بينما نظل نحن جهلاء، غير مدركين بوجود الحقيقة في مكان ما. عبَّر الفيلم الكلاسيكي «يوم توقفت الأرض» (١٩٥١) عن هذه الفكرة بشكل طيب، وذلك حين جاء زائر فضائي،

أكثر حكمة بكثير من البشر، إلى الأرض كي يحذرنا من أن سلوكنا العنيف سيؤدي لدمار كوكبنا.

تكشف مشاعرنا الفطرية حيال الكون عن جانب مظلم يسقط مشاعرنا حيال الغرباء من البشر على الزوار من غير البشر. فكثير من إفادات الشهود عن الأجسام الطائرة المجهولة تتضمن عبارات مثل: «سمعت صوتًا غريبًا في الخارج، فأمسكت ببندقيتي وذهبت للتحقق منه.» كما تقع الأفلام التي تصور زيارات الكائنات الفضائية إلى الأرض في فخ العدائية بسهولة، بداية من ملحمة الحرب الباردة «الأرض ضد الأطباق الطائرة» (١٩٥٦)، حين فجر الجيش طبقًا طائرًا دون التوقف لحظة للتساؤل عن نوايا ركابه، وصولًا إلى فيلم «العلامات» (٢٠٠٢) الذي فيه يستخدم البطل المحب للسلم، الذي لا يحمل بندقية في يده، مضرب البيسبول لإخافة من تعدوا على مزرعته، وهي الوسيلة التي أشك في أنها ستنجح مع الكائنات الفضائية القادرة على عبور الفضاء النجمي الشاسع.

إن أقوى حجتين ضد اعتبار مشاهدات الأجسام الطائرة المجهولة دليلًا على وجود كائنات فضائية تكمنان في عدم أهمية كوكبنا، والمسافات الشاسعة بين النجوم. لا يمكن اعتبار أي من هذين السببين كافيًا وحده لنفي هذا التأويل بشكل قاطع، لكنهما معًا يشكلان حجة قوية. هل علينا، إذن، أن نخلص إلى أنه لأن الأرض ليست جذابة بشكل خاص فإن آمالنا في العثور على حضارات أخرى يجب أن تنتظر إلى اليوم الذي نستنفد فيه كافة مواردنا، ويتوجب علينا الانطلاق في رحلة صوب المجموعات الشمسية الأخرى؟

على الإطلاق. فالأسلوب العلمي لإرساء التواصل مع الحضارات الأخرى داخل مجرة درب التبانة وخارجها — في حال وجودها — اعتمد دومًا على السماح للطبيعة بالعمل في مصلحتنا. هذا المبدأ يغير السؤال: أي جوانب الحضارات الفضائية التي سنجدها ستكون أكثر إثارة؟ (الإجابة: الكائنات الفضائية التي تزورنا) إلى سؤال آخر مثمر من الناحية العلمية هو: ما أكثر وسيلة مرجحة للتواصل مع الحضارات الأخرى؟ تمدنا الطبيعة، والمسافات الشاسعة بين النجوم، بالإجابة: استخدام أرخص وسائل الاتصال المتاحة وأسرعها، التي تحتل المكانة نفسها في جميع أرجاء المجرة.

أرخص وأسرع وسيلة لإرسال الرسائل بين النجوم هي الإشعاع الكهرومغناطيسي، نفس الإشعاع الذي يحمل كافة سبل التواصل بعيد المدى على الأرض تقريبًا. لقد أحدثت موجات الراديو ثورة حقيقية في المجتمع الإنساني من خلال تمكيننا من إرسال الكلمات

والصور حول العالم بسرعة ١٨٦ ألف ميل في الثانية. هذه الرسائل تسافر بسرعة بالغة لدرجة أنك إذا بعثت إشارة نحو قمر صناعي في مدار ثابت على ارتفاع ٢٣ ألف ميل ليعيدها ثانية إلى مكان آخر على سطح الأرض، فلن يصل التأخير في رحلة الرسالة إلى ثانية واحدة.

عبر المسافات الشاسعة بين النجوم سيكون التأخير أكبر، ومع هذا فهو أقل تأخير يمكن أن نأمل في الحصول عليه. وإذا خططنا لإرسال رسائل نحو كوكبة القنطور — أقرب المجموعات الشمسية إلى شمسنا — فعلينا أن نضع في حسباننا الوقت الذي ستقطعه الرسالة في رحلتي الذهاب والإياب والبالغ ٤٫٤ سنوات لكل منهما. إن الرسائل التي تسافر، مثلًا، لعشرين عامًا تصل إلى مئات النجوم، أو الكواكب التي تدور حولها. وعليه، إذا كنا مستعدين لانتظار رحلة الذهاب والإياب البالغة أربعين عامًا، يمكننا بث الرسائل نحو كل نجم من هذه النجوم، وفي النهاية سنعرف هل سنتلقى ردًّا من أيها. هذه الطريقة تفترض — بطبيعة الحال — أنه لو وجدت حضارات بالقرب من أي من هذه النجوم، فهي تملك قدرة على استخدام موجات الراديو، واهتمامًا بتطبيقها، مساويين على الأقل لقدرتنا واهتمامنا.

السبب الجوهري وراء عدم تبني هذه الطريقة في البحث عن حضارات أخرى لا يكمن في الافتراضات التي يقوم عليها بقدر ما يكمن في توجهاتنا. فأربعون عامًا تبدو فترة طويلة ننتظر فيها شيئًا قد لا يحدث. (ومع هذا لو كنا أرسلنا الرسائل منذ أربعين عامًا، كنا سنحصل الآن على معلومات جدية بخصوص مدى وفرة الحضارات التي تستخدم موجات الراديو في منطقتنا من درب التبانة.) والمحاولة الجادة الوحيدة التي جرت في هذا الاتجاه حدثت في السبعينيات، حين كان الفلكيون يحتفلون بتحديث تلسكوب موجات الراديو بالقرب من أريسيبو، بورتوريكو، وذلك باستخدامه في بث رسالة لدقائق قليلة في اتجاه العنقود النجمي «إم ١٣». وبما أن هذا العنقود يقع على مسافة ٢٥ ألف سنة ضوئية، فأي رسالة ستعود منه ستستغرق وقتًا طويلًا، وهو ما يجعل الأمر أقرب إلى العرض العملي من محاولة تواصل جادة. ولو كنت تظن أن سرية اتصالاتنا هي التي أعاقت قدرتنا على بث الرسائل (إذ إنه من المفيد التصرف بدهاء في القرن الجديد)، تذكر أن كل صور البث الإذاعي والتليفزيوني بعد الحرب العالمية الثانية، إلى جانب أشعة راداراتنا القوية، أرسلت أغطية كروية من موجات الراديو إلى الفضاء. إن «الرسائل» المحمولة في إشارات بث مسلسلات تليفزيونية قديمة مثل «أزواج في شهر

العسل» و«أحب لوسي»، التي تنتشر بسرعة الضوء، غطت بالفعل آلافًا من النجوم، بينما غطت إشارات بث المسلسلات الحديثة نسبيًّا مثل «هاواي فايف أو» و«ملائكة تشارلي» مئات النجوم. وإذا استطاعت حضارات أخرى فصل العروض بعضها عن بعض من كتلة إشارات الراديو الآتية من الأرض — التي تناهز الآن الإشارات الآتية من أي جرم بالمجموعة الشمسية، بما فيها الشمس، أو أقوى — فربما يصدق التخمين المازح الذي يقول إن محتوى هذه المسلسلات ربما يكون هو السبب في أننا لم نسمع شيئًا من جيراننا، إما لأنهم يجدونها منفرة للغاية، أو (إن جاز لنا القول) مبهرة بدرجة تسلب الألباب حتى إنهم اختاروا ألا يردوا علينا.

قد تصلنا رسالة ما غدًا، محملة بمعلومات وتعليقات مثيرة للاهتمام. وهنا يبرز أفضل جوانب التواصل من خلال الإشعاع الكهرومغناطيسي. فهو ليس فقط رخيص التكلفة (فإرسال خمسين عامًا من البث التليفزيوني إلى الفضاء أقل تكلفة من مهمة فضائية واحدة)، بل أيضًا فوري، شريطة أن نتلقى إشارات حضارة أخرى ونفسرها. وهذا أيضًا ما يمثل جانبًا أساسيًّا في شعورنا بالإثارة حيال الأجسام الطائرة المجهولة، لكن في هذه الحالة قد نتلقى بالفعل رسائل يمكن تسجيلها، والتحقق من صحتها، ودراستها الدراسة الكافية حتى نفهمها.

في مشروع البحث عن حضارات ذكية غير أرضية، الذي يشير إليه العلماء المشتركون فيه بالاختصار «سيتي» SETI، يتركز البحث على إشارات الراديو، مع أن البديل المتمثل في البحث عن إشارات مرسلة على موجات ضوء مختلفة لا ينبغي نبذه. ومع أن موجات الضوء الآتية من حضارة أخرى يجب عليها التنافس مع مصادر طبيعية عدة للضوء، فإن أشعة الليزر توفر الفرصة لتركيز الضوء في لون وحيد أو تردد وحيد، وهو الأسلوب عينه الذي يمكن موجات الراديو من حمل الرسائل من المحطات الإذاعية والتليفزيونية المختلفة. وبالقدر الذي تستطيع موجات الراديو الذهاب إليه، ترتكن آمالنا في نجاح مشروع «سيتي» على الهوائيات القادرة على مسح السماء، وأجهزة الاستقبال التي تسجل ما تلتقطه الهوائيات، والحاسبات القوية التي تحلل الإشارات المتلقاة بحثًا عن الإشارات غير الطبيعية. يوجد احتمالان أساسيان: إننا قد نعثر على حضارة أخرى من خلال استراق السمع لاتصالاتها، التي قد يتسرب جزء منها إلى الفضاء على نفس النحو الذي تتسرب به إشارات البث الإذاعي والتليفزيوني الخاصة بنا للفضاء، أو إننا قد نكتشف

إشارات موجهة عمدًا، المقصود منها جذب انتباهنا لحضارة لم تكن معروفة من قبل تشبه حضارتنا.

من الواضح أن استراق السمع هو المهمة الأصعب. فالإشارة الموجهة تركز قوتها على اتجاه بعينه، وبهذا يصير اكتشاف هذه الإشارة أسهل لو كانت موجهة عمدًا نحونا، بينما الإشارات المتسربة للفضاء تشتت طاقتها على نحو غير متساوٍ في شتى الاتجاهات، ومن ثم تكون أضعف على مسافات معينة من مصدرها عن الإشارات الموجهة. إضافة إلى ذلك، الإشارة الموجهة ستحمل على الأرجح بعض تدريبات الإحماء السهلة التي تخبر متلقيها بكيفية تأويلها، بينما الإشعاع المتسرب للفضاء لن يحمل دليلًا إرشاديًّا كهذا. لقد سربت حضارتنا الإشارات لعقود عديدة، وأرسلت إشارة موجهة وحيدة في اتجاه بعينه لدقائق معدودة. وإذا كانت الحضارات نادرة الوجود، فأي محاولة للعثور عليها يجب أن تركز على استراق السمع وتتجنب الوقوع في فخ الأمل في العثور على إشارات موجهة.

وقد بدأ أنصار مشروع سيتي — بالاستعانة بنظم أفضل من الهوائيات وأجهزة الاستقبال — في استراق السمع للكون، على أمل أن يعثروا على أدلة على وجود حضارات أخرى. وتحديدًا لأن المشاركين في هذه الأنشطة لا يضمنون أننا سنسمع شيئًا نتيجة استراق السمع هذا، فقد وجدوا صعوبة في تأمين التمويل اللازم. ففي أوائل التسعينيات دعم الكونجرس الأمريكي أحد برامج المشروع سيتي، لكن سريعًا ما أوقف أشخاص ذوو تفكير أرجح هذا التمويل. يستمد علماء المشروع سيتي الدعم، جزئيًّا، من ملايين الأشخاص الذين حملوا شاشات الحماية (من الموقع الإلكتروني setiathome.sl.berkeley.edu) التي تستغل الحاسبات المنزلية في تحليل البيانات الخاصة بالإشارات القادمة من الفضاء في الأوقات التي لا تعمل بها تلك الحاسبات. وقد جاء المزيد من التمويل من بعض الأثرياء، أبرزهم الراحل بيرنارد أوليفر، المهندس البارز بشركة هيوليت باكارد الذي اهتم طيلة حياته بمشروع سيتي، وبول ألين، الشريك المؤسس لمايكروسوفت. أمضى أوليفر سنوات عديدة في التفكير بشأن المشكلة الأساسية في مشروع سيتي؛ صعوبة البحث عبر مليارات الترددات الممكنة التي قد تبث الحضارات الأخرى إشاراتها عليها. إننا نقسم نطاق طيف موجات الراديو إلى حزم عريضة، وبهذا تتاح بضع مئات من الترددات المختلفة فقط للبث الإذاعي والتليفزيوني. من الناحية النظرية، قد تكون الإشارات القادمة من خارج الأرض مقصورة على نطاق تردد ضيق

حتى إن مجال المشروع سيتي سيحتاج لمليارات المدخلات. وبمقدور الحاسبات القوية، التي تقوم عليها جهود المشروع سيتي، الوفاء بهذا التحدي من خلال تحليل مئات الملايين من الترددات في الوقت ذاته. لكنها، من ناحية أخرى، لم تجد إلى الآن أي دلائل على وجود اتصالات راديوية من حضارات أخرى.

منذ أكثر من خمسين عامًا مضت، ناقش العبقري الإيطالي إنريكو فيرمي، الذي يعد على الأرجح آخر فيزيائي عظيم قدم إسهاماته في المجالين النظري والعملي على السواء، فكرة وجود حياة خارج كوكب الأرض أثناء تناول الغداء مع زملائه. وبعد أن اتفق العلماء على عدم وجود ما يميز الأرض عن غيرها كموطن للحياة، توصلوا إلى نتيجة مفادها أن الحياة لا بد أن توجد في أماكن كثيرة في درب التبانة. وفي هذه الحالة طرح فيرمي السؤال الذي استمر قائمًا لعقود: أين هذه الأماكن؟

كان فيرمي يقصد أنه لو شهدت أماكن عديدة في مجرتنا وجود حضارات متقدمة تكنولوجيًّا، فمن المؤكد أننا كنا سنسمع من إحداها على الأقل، من خلال رسائل موجات الراديو أو الليزر، إن لم يكن من خلال زيارات حقيقية. وحتى لو كانت أغلب الحضارات تفنى بسرعة، مثلما قد يحدث مع حضارتنا، فإن وجود عدد كبير من الحضارات يعني أن بعضها يتمتع بعمر مديد بما يكفي بحيث يتبنى بحثًا طويل الأمد عن الحضارات الأخرى. وحتى لو لم يهتم بعض من هذه الحضارات ذات العمر الطويل بمثل هذا البحث، فستهتم حضارات أخرى. وعلى هذا فإن حقيقة أننا لم نتحقق علميًّا من أي زيارات للأرض، أو نتلقَّ أي إشارات أنتجتها حضارة أخرى، قد تثبت لنا أننا أسأنا تقدير احتمالية نشوء الحضارات الذكية في مجرة درب التبانة.

كان لرأي فيرمي وجاهته. فكل يوم يمرُّ علينا يضيف المزيد من الأدلة التي تؤكد على أننا وحيدون في مجرتنا. ومع ذلك، حين نراجع الأرقام الفعلية، تبدو هذه الأدلة ضعيفة. فإذا وجدت عدة آلاف من الحضارات في مجرتنا في أي وقت بعينه، فسيكون متوسط الفاصل بين الحضارات المتجاورة بضع عشرات الآلاف من السنوات الضوئية؛ أي أكبر من المسافة بيننا وبين أقرب نجم لنا بألف ضعف. وإذا استمرت واحدة من هذه الحضارات أو أكثر لملايين الأعوام، فقد نتوقع أنها قد أرسلت لنا بالفعل إشاراتها، أو كشفت عن وجودها لجهود استراق السمع المتواضعة التي نبذلها. ومع ذلك، إذا لم تصل أي حضارة لمثل هذا العمر، فسيكون علينا العمل بجد للعثور على جيراننا؛ لأنه لن يكون أي منهم منخرطًا في مسعاه للعثور على الحضارات الأخرى في أرجاء المجرة، ولن يبث أي منهم إشارات بالقوة التي تمكن جهود استراق السمع التي نبذلها من اكتشافها.

بهذا نظل أسرى الحالة الإنسانية المألوفة، على شفا أن نشهد أحداثًا قد لا تحدث قط. إن أهم خبر في تاريخ البشر قد يصلنا غدًا، أو العام القادم، أو قد لا يصلنا على الإطلاق. فدعونا نَمْضِ نحو فجر جديد، مستعدين لتقبل الكون كما يحيط بنا، وكما يكشف عن نفسه لنا، ذلك الكون الذي يشع بالطاقة، ويكتنفه الغموض.

خاتمة

البحث عن أنفسنا في الكون

> مستعينًا بحواسه الخمس، يستكشف الإنسان الكون من حوله، ويسمي هذه المغامرة العلم.
>
> إدوين بي هابل، ١٩٤٨

تظهر الحواس البشرية نطاقًا مذهلًا من الحساسية والحدة. فبإمكان آذاننا التقاط الصوت المدوي لإطلاق مكوك الفضاء، وفي الوقت نفسه تستطيع سماع البعوضة وهي تطن في ركن الحجرة. وتمكنك حاسة اللمس من الشعور بثقل كرة البولينج وهي تسقط على أصبع قدمك الكبير، أو الشعور بالحشرة البالغ وزنها ملليجرامًا واحدًا وهي تزحف على ذراعك. بعض الناس يستمتعون بالتهام الفلفل الأحمر الحار، بينما يستطيع اللسان الحساس تمييز وجود نكهات الطعام التي لا يزيد مقدارها على أجزاء قليلة في المليون. كما تستطيع أعيننا تسجيل المنطقة الرملية الساطعة بالشاطئ المشمس، وهي أيضًا لا تجد صعوبة في إدراك عود ثقاب وحيد أشعل على مسافة مئات الأقدام، عبر قاعة مظلمة. أيضًا تمكننا أعيننا من النظر عبر الحجرة وعبر الكون. ودون حاسة البصر لم يكن علم الفلك ليولد، ولظلت قدرتنا على قياس موضعنا في الكون قاصرة للغاية.

بتكامل الحواس بعضها مع بعض تمكنَّا من فهم أساسيات بيئتنا المحيطة، مثل ما إذا كان الوقت ليلًا أو نهارًا، أو حين يكون أحد الكائنات على وشك التهامك. لكن حتى

القرون القليلة الماضية لم يدرك أحد تقريبًا أن حواسنا لا تقدم لنا سوى نافذة ضيقة على الكون المادي.

يتفاخر البعض بالحاسة السادسة، مجاهرين بمعرفتهم أو رؤيتهم لأشياء لا يستطيع غيرهم رؤيتها أو معرفتها. والعرافون وقارئو الأفكار والمتصوفة يأتون على رأس قائمة من يزعمون امتلاكهم لقدرات غامضة. وهم بهذا يغرسون افتتانًا واسع المدى لدى غيرهم من البشر. إن مجال علم النفس الغيبي، الذي هو محل ريبة، يقوم على التوقع بأن بعض الأشخاص على الأقل يملكون مثل هذه القدرة بالفعل.

على النقيض يستخدم العلم الحديث عشرات الحواس. ومع هذا فالعلماء لا يزعمون أنها تعبر عن قدرات خاصة، بل هم يملكون أدوات خاصة تحول المعلومات التي جمعتها هذه الحواس الإضافية إلى جداول بسيطة أو رسوم بيانية أو تخطيطية أو صور تستطيع أعيننا الطبيعية تأويلها.

ومع كل الاعتذار لإدوين بي هابل، فإن كلماته التي اقتبسناها في الصفحة السابقة، مع أنها مؤثرة وشاعرية، كان ينبغي أن تكون على النحو الآتي:

> مستعينين بحواسنا الخمس، إلى جانب أجهزة التلسكوب والميكروسكوب، ومناظير الطيف وأجهزة رصد الحركات الأرضية وقياس القوى المغناطيسية، وكاشفات الجسيمات ومعجلاتها، والمعدات التي تسجل الإشعاع الصادر عن الطيف الكهرومغناطيسي بأكمله، نستكشف الكون من حولنا، ونسمي هذه المغامرة العلم.

فكر إلى أي مدى سيبدو العالم أكثر ثراءً في نظرنا، وكم كان من الأسرع أن نكتشف الطبيعة الجوهرية للكون، لو أننا ولدنا بأعين عالية الدقة قابلة للضبط والتوجيه. فقط اضبط عينيك على جزء موجات الراديو من الطيف وستتحول سماء النهار إلى ظلام كالليل، باستثناء بعض الاتجاهات المختارة. سيبدو مركز مجرتنا كأحد أكثر النقاط سطوعًا في السماء، وسيسطع بدرجة كبيرة من وراء بعض النجوم الرئيسية في كوكبة القوس. ثم اضبط عينيك على نطاق الموجات الميكرونية وسيتوهَّج الكون بأسره ببقايا الإشعاع الذي غمر الكون المبكر، حائط من الضوء استهل رحلته نحونا بعد الانفجار العظيم بـ ٣٨٠ ألف عام. ثم اضبط عينيك على نطاق الأشعة السينية، وستحدد على الفور مواضع الثقوب السوداء ودوامات المادة المندفعة نحوها. ثم اضبط عينيك على نطاق

أشعة جاما، وانظر للانفجارات المهولة المندفعة من اتجاهات عشوائية بمعدل انفجار واحد كل يوم في جميع أرجاء الكون. ثم شاهد تأثير هذه الانفجارات على المادة المحيطة بينما تسخن لتنتج الأشعة السينية، وتحت الحمراء، والضوء المرئي.

ولو أننا ولدنا بمستكشفات مغناطيسية، لم نكن سنحتاج لاختراع البوصلة؛ لأنه لم يكن أحد ليحتاجها. فقط اضبط نفسك على اتجاه خطوط المجال المغناطيسي للأرض وسيظهر لك الاتجاه نحو الشمال المغناطيسي كما لو أنه الساحر أوز يظهر في الأفق. ولو أننا نملك القدرة على تحليل الطيف داخل شبكية العين، لم نكن لنتساءل: مِمَّ يتكون الغلاف الجوي؟ فيكفينا نظرة وحيدة له وسنعرف هل يحتوي على قدر كافٍ من الأكسجين كي يدعم الحياة البشرية أم لا. وسنكون قد عرفنا منذ آلاف السنوات أن النجوم والسدم الموجودة في مجرتنا تحتوي على العناصر الكيميائية الموجودة هنا على الأرض.

ولو أننا ولدنا بأعين كبيرة حساسة قادرة على رصد إزاحة دوبلر، لكنا قد رأينا على الفور — حتى ونحن مجرد ساكني كهوف مزمجرين — أن الكون بأسره يتمدد، وأن المجرات البعيدة تبتعد عنا.

لو أن أعيننا تملك الدقة التي تملكها الميكروسكوبات عالية الأداء، لم نكن سنعزو الطاعون وغيره من الأمراض إلى أسباب غيبية. فالبكتيريا والفيروسات التي تسببت في مرضك ستكون واضحة أمام ناظريك وهي تزحف على طعامك أو تتسلل عبر الجروح المفتوحة في جلدك. وبتجارب بسيطة يمكنك بسهولة أن تعرف أي من هذه الكائنات مضر وأيها مفيد. كما أن مشكلة الجراثيم المسببة لعدوى ما بعد الجراحة ستكون قد حُددت وحُلت منذ مئات الأعوام.

لو أننا قادرون على اكتشاف الجسيمات عالية الطاقة، كنا سنحدد المواد المشعة من مسافات بعيدة. ولم نكن سنحتاج لعدادات جايجر. بل سيصير بمقدورك رؤية غاز الرادون وهو يتسرب عبر قبو منزلك دون أن تدفع لمتخصص كي يخبرك بهذا الأمر.

إن عملية الشحذ التي خضعت لها حواسنا الخمسة منذ المولد وخلال مرحلة الطفولة تمكننا ونحن بالغون من إصدار الأحكام على الأحداث والظواهر في حياتنا، والتصريح بأنها «منطقية» أم لا. المشكلة هي أنه لم يتحقق أي اكتشاف علمي تقريبًا خلال القرن الماضي بفضل الاستخدام المباشر لحواسنا، بل تحققت هذه الاكتشافات بفضل التطبيق المباشر للرياضيات والمعدات التي تتجاوز نطاق حواسنا. هذه الحقيقة

البسيطة تفسر لنا لماذا — من وجهة نظر الشخص العادي — تبدو فيزياء الجسيمات ونظرية الأوتار ذات الأحد عشر بُعدًا أمورًا غير منطقية. أضف إلى هذه القائمة الثقوب السوداء والثقوب الدودية والانفجار العظيم. في الواقع، هذه المفاهيم تبدو غير منطقية للعلماء أنفسهم أيضًا، إلى أن نستكشف الكون لفترة طويلة بكافة حواسنا التي تتيحها لنا التكنولوجيا. وما سيظهر لنا هو مستوى جديد أعلى من «الحس غير المنطقي» الذي يمكن العلماء من التفكير بصورة مبدعة ومن إصدار الأحكام في عالم الذرة غير المألوف أو في نطاق الفضاء ذي الأبعاد الأعلى المحير للعقل. أدلى الفيزيائي الألماني ماكس بلانك، في القرن العشرين، بملحوظة مشابهة عن اكتشاف ميكانيكا الكم، حين قال: «تثير الفيزياء الحديثة انبهارنا تحديدًا بتأكيدها على حقيقة العقائد القديمة القائلة إن هناك عوالم موجودة خارج نطاق إدراكاتنا الحسية، وإن هناك مشكلات وصراعات حيث تكون لهذه العوالم قيمة أعظم في نظرنا من أغلى كنوز عالم الخبرة.»

تفتح كل طريقة جديدة للمعرفة نافذة جديدة على الكون؛ وسيلة استكشاف جديدة تضيف إلى قائمتنا المتنامية من الحواس غير البيولوجية. وكلما حدث هذا وصلنا لمستوى جديد من التنوير الكوني، كما لو أننا نتطور إلى كائنات ذات وعي فائق. من يتخيل أن سعينا لفك شفرة ألغاز الكون — ونحن مسلحون بالحواس الصناعية المتعددة — من شأنه أن يهبنا البصيرة في أنفسنا؟ إننا نباشر هذا السعي ليس بدافع رغبة بسيطة، بل بموجب تفويض من جنسنا بالبحث عن مكاننا في الكون. وهذا السعي قديم، وليس جديدًا، وقد جذب اهتمام المفكرين العظام والمتواضعين، على مر العصور وفي شتى الثقافات. وما اكتشفناه في النهاية هو ما عرفه الشعراء منذ قديم الأزل:

لن نكف قط عن الاستكشاف
ونهاية كل استكشافاتنا
هي الوصول إلى حيث بدأنا
ومعرفة مكاننا للمرة الأولى …

تي إس إليوت، ١٩٤٢

مسرد ببعض المصطلحات المختارة

أجسام طائرة مجهولة: أجسام تُرى في السماء ليس لوجودها تفسير طبيعي، وهي تكشف إما عن جهل عميق داخل المجتمع العلمي أو عن جهل عميق لدى الراصد.

احتباس حراري (تأثير الصوبة): احتباس الأشعة تحت الحمراء بواسطة الغلاف الجوي للكوكب، وهو ما يرفع درجة الحرارة فوق سطح الكوكب على الفور.

احتباس حراري متزايد: تعاظم الاحتباس الحراري مع تسبب الحرارة المتزايدة لسطح الكوكب في زيادة معدل البخر، وهو ما يزيد بدوره من معدل الاحتباس الحراري.

اختلاف مركزي: مقياس لاستواء القطع الناقص، وهو يساوي نسبة المسافة بين «بؤرتي» القطع الناقص إلى محوره الطويل.

أذرع حلزونية: الأشكال الحلزونية التي تُرى داخل قرص المجرة الحلزونية، والتي ترسم خطوطها العريضة النجوم الأشد حرارة والأكثر سطوعًا وشبابًا، إلى جانب السحب العملاقة من الغاز والغبار التي تكونت بداخلها المجرات حديثًا.

إزاحة حمراء: الميل نحو تردد أقل وطول موجي أكبر على الطيف الضوئي لأي جسم، وهي (الإزاحة الحمراء) تحدث في المعتاد بسبب تأثير دوبلر.

إزاحة دوبلر: التغير الجزئي في التردد والطول الموجي والطاقة الناتج عن تأثير دوبلر.

إزاحة زرقاء: إزاحة الضوء نحو الترددات العالية والطول الموجي الأقل، وهي تحدث بالأساس بسبب تأثير دوبلر.

استراق السمع: الأسلوب المستخدم لمحاولة اكتشاف أي حضارة في الفضاء الخارجي، وذلك بالتقاط بعض إشارات الراديو المستخدمة في التواصل الداخلي لتلك لحضارة.

إشعاع: اختصار للإشعاع الكهرومغناطيسي. في عصرنا النووي الحالي صارت الكلمة تعني أيضًا أي جسيم أو نوع من الضوء مضر بصحة الإنسان.

إشعاع خلفية كوني: بحر من الفوتونات التي أُنتجت في كل مكان من الكون في أعقاب الانفجار العظيم، ولا يزال يملأ الكون إلى الآن وتصل درجة حرارته إلى ٢٫٧٣ درجة كلفينية.

إشعاع فوق بنفسجي: فوتونات لها تردد وطول موجي يقع بين الضوء المرئي والأشعة السينية.

إشعاع كهرومغناطيسي: تيارات من الفوتونات تحمل الطاقة بعيدًا عن مصدر الفوتونات.

أشعة تحت الحمراء: إشعاع كهرومغناطيسي يتكون من فوتونات ذات طول موجي أطول نسبيًّا وترددات أقل نسبيًّا من الفوتونات المؤلفة للضوء المرئي.

أشعة جاما: أعلى أنواع الإشعاع الكهرومغناطيسي من حيث الطاقة والتردد، وأقصرها من حيث الطول الموجي.

أشعة سينية: فوتونات لها ترددات أعلى من فوتونات الأشعة فوق البنفسجية لكنها أقل من فوتونات أشعة جاما.

أفق الحدث: اسم شعري يطلق على نصف قطر الثقب الأسود لأي جسم، ويعني المسافة إلى مركز الثقب الأسود، التي تعد بمنزلة نقطة اللاعودة؛ لأنه لا يمكن لشيء أن يفلت من قوى جذب الثقب الأسود إذا عبر حدود أفق الحدث لهذا الثقب. يمكن اعتبار أفق الحدث بمنزلة «حافة» للثقب الأسود.

أكسجين: العنصر الذي تحتوي نواته على ثمانية بروتونات، وتحتوي نظائره على سبعة أو ثمانية أو تسعة أو عشرة أو أحد عشر أو اثني عشر من النيوترونات في كل نواة. أغلب ذرات الأكسجين بها ثمانية نيوترونات تصاحب البروتونات الثمانية.

أكسدة: الاتحاد بذرات الأكسجين، مثال على ذلك إصابة المعادن بالصدأ عند التعرض للأكسجين الموجود في الهواء.

إلكترون: جسيم أولي سالب الشحنة الكهربية، ويدور في الذرة حول النواة.

انتخاب طبيعي: نجاح متفاوت في التناسل بين كائنات النوع الواحد، وهو القوة الدافعة خلف تطور الحياة على الأرض.

اندماج: اتحاد نواتين أصغر لتكوين نواة أكبر حجمًا. ينتج عن اندماج أنوية الذرات الأخف من الحديد طاقة، ويوفر الاندماج النووي مصدر الطاقة الأولي لجميع

الأسلحة النووية في العالم، ولكل النجوم في الكون. وهو يسمى أيضًا بالاندماج النووي والاندماج النووي الحراري.

اندماج نووي: اتحاد نواتين تحت تأثير القوة النووية القوية، وهو يحدث فقط عندما تقترب إحدى النواتين من الأخرى لمسافة تساوي تقريبًا حجم البروتون (١٠-١٣ سنتيمترًا).

اندماج نووي حراري: مسمى آخر للاندماج النووي، وأحيانًا يشار له اختصارًا بالاندماج.

إنزيم: نوع من الجزيئات، يتكون إما من البروتين أو الرنا، يخدم كمكان تتفاعل فيه الجزيئات بعضها مع بعض بصورة معينة، وهو بهذا يؤدي دور العامل المحفز؛ إذ يزيد سرعة التفاعل بين هذه الجزيئات.

انشطار: انقسام نواة ذرة أكبر إلى نويتين أو أكثر أصغر. ينتج عن انشطار الذرات الأكبر من ذرة الحديد طاقة. يعد هذا الانشطار (المسمى بالانشطار النووي) مصدرًا للطاقة في جميع مفاعلات الطاقة النووية في الوقت الحالي.

انفجار عظيم: الوصف العلمي لنشأة الكون، المبني على فرضية قوامها أن الكون بدأ بانفجار أتى بالفضاء والمادة إلى الوجود منذ ١٤ مليار عام تقريبًا. واليوم يستمر الكون في التمدد في جميع الاتجاهات، في كل مكان منه، نتيجة لهذا الانفجار العظيم.

انقراض شامل: حدث وقع في تاريخ الحياة على الأرض، في بعض الأحيان نتيجة لارتطام جسم عظيم بالكوكب، انقرضت نتيجة له نسبة كبيرة من الكائنات في غضون فترة جيولوجية وجيزة.

أوزون: جزيئات مكونة من ثلاث ذرات أكسجين، على ارتفاعات عالية في الغلاف الجوي للأرض، تحمي سطح الكوكب من الأشعة فوق البنفسجية.

أيض: مجموع العمليات الكيميائية للكائن الحي، ويقاس بالمعدل الذي يستخدم به الكائن الطاقة. الحيوان ذو معدل الأيض المرتفع يجب عليه استهلاك طاقة (طعام) بمعدل أعلى بكثير كي يظل على قيد الحياة.

أيون: ذرة فقدت أحد إلكتروناتها أو أكثر.

بدائيات النوى: أحد أشكال الحياة الثلاثة على الأرض، وتتكون من كائنات وحيدة الخلايا لا تكون المادة الوراثية كامنة بها في نواة محددة للخلية.

بروتون: جسيم أولي ذو شحنة كهربية موجبة يوجد في نواة كل ذرة. يحدد عدد البروتونات داخل نواة الذرة هوية العنصر الذي تمثله هذه الذرة. على سبيل المثال،

العنصر ذو البروتون الواحد في نواة ذرته هو الهيدروجين، والعنصر ذو البروتونين هو الهيليوم، والعنصر ذو الاثنين والتسعين بروتونًا هو اليورانيوم.

بروتين: جزيء طويل مكون من سلسلة أو أكثر من الأحماض الأمينية.

بكتيريا: أحد أشكال الحياة الثلاثة على الأرض (التي كانت تعرف من قبل ببدائيات النوى) وهي كائنات وحيدة الخلايا ليس لها نواة واضحة تحمل المادة الوراثية.

تأثير دوبلر: التغير في التردد والطول الموجي والطاقة المرصودة للفوتونات الآتية من مصدر يقترب أو يبتعد بسرعة نسبية على امتداد خط البصر بين الراصد والمصدر. هذه التغيرات في التردد والطول الموجي هي ظاهرة عامة تحدث مع أي نوع من حركة الموجات. وهي لا تعتمد على ما إذا كان المصدر هو الذي يتحرك أو الراصد هو الذي يتحرك، فما يهم هنا هو الحركة النسبية للمصدر إلى الراصد على امتداد خط البصر.

تأين: عملية تحويل الذرة إلى أيون من خلال تجريد الذرة من أحد إلكتروناتها أو أكثر.

تبذر شامل: الفرضية القائلة إن الحياة انتقلت من منطقة بالفضاء إلى أخرى، كأن تنتقل من كوكب إلى آخر داخل نفس المجموعة الشمسية.

تحلل إشعاعي: العملية التي بموجبها تتحول أنواع معينة من أنوية الذرات نفسها إلى أنواع أخرى.

تراكم: تجمع المادة بما يضيف إلى كتلة الجسم.

تردد: مع الفوتونات يعني عدد ذبذبات أو اهتزازات الفوتون في الثانية.

تسارع: التغير في سرعة أو اتجاه حركة الجسم (أو كليهما).

تسامي: الانتقال من الحالة الصلبة إلى الغازية أو من الغازية إلى الصلبة، دون المرور بالحالة السائلة.

تشكك: حالة من التساؤل والارتياب، وهي أساس التقصي العلمي عن الكون.

تضاعف: العملية التي بموجبها ينقسم جزيء الدنا «الأب» إلى جديلتي دنا منفصلتين كل منهما مطابقة للجديلة الأصلية.

تطور: في البيولوجيا، هو النتاج المتواصل لعملية الانتخاب الطبيعي، التي تتسبب، في ظل ظروف معينة، في جعل مجموعات متشابهة من الكائنات، تسمى الأنواع، تتغير مع مرور الوقت بحيث تتباين سلالاتها عنها بشكل كبير من ناحيتي البنية والمظهر، وهو يعني، بشكل عام؛ أي تغير تدريجي لجسم إلى صورة أو حالة تطورية أخرى.

تكتونيات الصفائح: الحركة البطيئة لصفائح قشرة كوكب الأرض وغيره من الكواكب المشابهة.

تلسكوب (أشعة جاما، الأشعة السينية، الأشعة فوق البنفسجية، الضوء المرئي، الأشعة تحت الحمراء، الموجات الميكرونية، موجات الراديو): صمم علماء الفلك تلسكوبات ومستكشفات خاصة لكل نطاق من نطاقات الطيف. بعض نطاقات هذا الطيف لا تصل إلى سطح كوكب الأرض. ولرؤية أشعة جاما والأشعة السينية والأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء المنبعثة من الأجرام الفلكية، يجب رفع هذه التلسكوبات فوق طبقة الغلاف الجوي التي تمتص هذه الأنواع من الأشعة. تتباين التلسكوبات في تصميماتها، لكنها تتشارك في المبادئ الأساسية وهي: (١) أنها تجمع الفوتونات، (٢) أنها تركز الفوتونات، (٣) أنها تسجل الفوتونات باستخدام نوع ما من المستكشفات.

تلسكوب جيمس ويب الفضائي: تلسكوب فضائي، من المقرر أن يبدأ العمل في العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين، يفوق تلسكوب هابل في القدرة؛ إذ سيحمل مرآة أكبر ومعدات أكثر تقدمًا إلى الفضاء.

تمثيل ضوئي: استخدام الطاقة على صورة الضوء المرئي أو فوتونات الأشعة فوق البنفسجية لإنتاج جزيئات الكربوهيدرات من ثاني أكسيد الكربون والماء. في بعض الكائنات يلعب كبريتيد الهيدروجين (H_2S) الدور الذي يلعبه الماء (H_2O) في التمثيل الضوئي على الأرض.

ثابت كوني: الثابت الذي أدخله ألبرت أينشتاين إلى معادلته التي تصف السلوك الكلي للكون، وهو يصف مقدار الطاقة، المسماة الآن بالطاقة المظلمة، في كل سنتيمتر مكعب مما يبدو وكأنه فضاء خاوٍ.

ثابت هابل: الثابت الذي يظهر في قانون هابل ويربط المسافات إلى المجرات بسرعات ابتعادها.

ثاني أكسيد الكربون: جزيء رمزه الكيميائي CO_2، يحتوي على ذرة واحدة من الكربون وذرتين من الأكسجين.

ثقب أسود: جسم ذو قوة جذب هائلة حتى إن شيئًا، لا يستطيع الإفلات منه في حدود مسافة معينة من مركزه حتى الضوء نفسه، ويطلق على هذه المسافة نصف قطر الثقب الأسود.

ثقب أسود هائل: ثقب أسود كتلته تعادل مئات المرات كتلة الشمس.

ثلج جاف: ثاني أكسيد الكربون المجمد (CO_2).

جاذبية ذاتية: قوى الجاذبية التي يمارسها كل جزء من أجزاء الجسم على غيره من الأجزاء.

جزيء: تجميعة مستقرة من ذرتين أو أكثر.

جزيء الدنا (الحمض النووي الريبي منقوص الأكسجين): جزيء طويل معقد يتكون من جديلتين لولبيتين متشابكتين، ترتبطان معًا بآلاف الروابط المشتركة المكونة من جزيئات صغيرة. حين تنقسم جزيئات الدنا وتتضاعف، فهي تنشق بالطول، بحيث ينشطر كل زوج من الجزيئات التي تؤلف الروابط المتبادلة. بعد ذلك يكوِّن كل نصف للجزيء نسخة جديدة من النصف الأصلي المكمل له وذلك من جزيئات أصغر موجودة في البيئة المحيطة.

جسم تابع: جسم صغير نسبيًّا يدور حول آخر أكبر حجمًا بكثير، وعلى نحو أكثر دقة، يدور الاثنان حول مركز كتلتيهما المشترك في مدارين يتناسبان عكسيًّا مع كتلة كل منهما.

جسيم مضاد: جسيم المادة المضادة المناظر لجسيم المادة العادية.

جسيمات أولية: الجسيم الأولي للطبيعة هو جسيم لا يمكن تجزئته إلى جسيمات أخرى أصغر. عادة ما تُصنَّف البروتونات والنيوترونات بوصفها جسيمات أولية مع أن الواحد منها يتألف من ثلاثة جسيمات أخرى تسمى الكواركات.

جين: جزء من الكروموسوم يحدد، من خلال الشفرة الوراثية، تكوين سلسلة بعينها من الأحماض الأمينية.

جينوم: المجموعة الكاملة لجينات الكائن الحي.

حجر نيزكي: الجزء المتبقي من النيزك بعد عبوره من الغلاف الجوي للأرض.

حزام كويبر: المادة التي تدور حول الشمس على مسافات تمتد من حوالي ٤٠ وحدة فلكية (متوسط المسافة إلى بلوتو) إلى عدة مئات من الوحدات الفلكية، وكلها تقريبًا من الحطام المتخلف عن القرص الكوكبي للشمس. يعد بلوتو أكبر الأجرام الموجودة بحزام كويبر.

حضارة: من وجهة نظر أنشطة المشروع سيتي، هي مجموعة من الكائنات لها قدرة على التواصل عبر النجوم تعادل على الأقل القدرة التي نملكها على كوكب الأرض.

حفرية: أثر أو بقايا لكائن حي قديم.

حقيقيات النوى: جميع الكائنات المصنفة ككائنات حقيقية النواة (انظر: كائنات حقيقية النوى).

حمض أميني: واحد من طبقة صغيرة نسبيًّا من الجزيئات مكون من ثلاث عشرة إلى سبع وعشرين من ذرات الكربون والنيتروجين والهيدروجين والأكسجين والكبريت، وبإمكانه الارتباط مع غيره من الأحماض الأمينية لتكوين سلاسل طويلة من جزيئات البروتين.

حمض نووي: إما الدنا أو الرنا.

حياة: سمة توصف بها المادة القادرة على التكاثر والتطور.

خارج المجموعة الشمسية: صفة توصف بها الأجرام السماوية الواقعة خارج مجموعتنا الشمسية. وفي اللغة الإنجليزية، يُفضَّل استخدام البادئة "exo" لأنها تتوافق مع مصطلح علم الأحياء الخارجية exobiology المعني بدراسة بدايات أشكال الحياة خارج كوكب الأرض.

خط طول: على كوكب الأرض، هو الإحداثي الذي يقيس الشرق أو الغرب من خلال تحديد عدد الدرجات من «خط جرينيتش»، ذلك الخط الوهمي الذي يمر من الشمال إلى الجنوب عبر بلدة جرينيتش بإنجلترا. تتراوح خطوط الطول من صفر إلى ١٨٠ درجة شرق جرينيتش أو من صفر إلى ١٨٠ درجة غربها، وبهذا يصل عددها إلى ٣٦٠ درجة تغطي سطح الكوكب بأسره.

خط عرض: على كوكب الأرض، هو الإحداثي الذي يقيس الشمال والجنوب من خلال تحديد عدد الدرجات من خط الاستواء (الدرجة صفر) وصولًا إلى القطب الشمالي (الدرجة ٩٠ شمالًا) أو القطب الجنوبي (الدرجة ٩٠ جنوبًا).

خلية: الوحدة البنيوية والوظيفية الموجودة في كل أشكال الحياة على الأرض.

درب التبانة: المجرة التي تحتوي على شمسنا إضافة إلى قرابة ٣٠٠ مليار نجم آخر، إلى جانب الغاز والغبار النجمي وكمية مهولة من المادة المظلمة.

درجة حرارة: قياس لمتوسط الطاقة الحركية لمجموعة من الجسيمات المتحركة بصورة عشوائية. في المطلق، أو وفق مقياس درجة الحرارة الكلفيني، تتناسب درجة حرارة الغاز مع متوسط الطاقة الحركية للجسيمات داخل الغاز.

دقة: قدرة أي أداة مجمعة للضوء، كالكاميرا أو التلسكوب أو الميكروسكوب، على التقاط التفاصيل. عادة ما تتحسن القدرة مع استخدام عدسات أو مرايا أكبر، لكن هذا التحسن قد لا يُلاحَظ بسبب التشوش الذي يحدثه الغلاف الجوي.

دوران: حركة الجسم حول جسم آخر، مثل حركة دوران الأرض حول الشمس. عادة ما يحدث خلط بين الدوران واللف حول الذات.

إشعاع جذبوي (موجات الجاذبية): إشعاع، مختلف عن الإشعاع الكهرومغناطيسي باستثناء قدرته على السفر بسرعة الضوء، يُنتَج بكميات وفيرة نسبيًّا حين تمر الأجسام الضخمة بعضها بجوار بعض بسرعة عالية.

دورة البروتون-البروتون: هي سلسلة من ثلاثة تفاعلات اندماج نووي تدمج من خلالها أغلب النجوم البروتونات لتحولها إلى أنوية هيليوم، مع تحويل طاقة الكتلة إلى طاقة حركة.

ديناميكا: دراسة حركة القوى وتأثيرها على تفاعل الأجسام. عند تطبيقها على حركة الأجرام في المجموعة الشمسية والكون، عادة ما يطلق عليها الميكانيكا السماوية.

ديناميكا نيوتن المعدلة: نظرية بديلة للجاذبية اقترحها الإسرائيلي موردخاي ميلجروم.

ذرة: أصغر وحدة متعادلة كهربيًّا للمادة، وتتكون من نواة بها بروتون واحد أو أكثر ومن صفر نيوترونات أو أكثر، يدور حولها عدد من الإلكترونات مساوٍ لعدد البروتونات داخل النواة. يحدد هذا العدد الخصائص الكيميائية للمادة.

رنا (حمض نووي ريبي): جزيء كبير معقد مكون من نفس أنواع الجزيئات التي يتكون منها الدنا، وهو يؤدي وظائف عديدة مهمة داخل الخلية الحية، من بينها حمل الرسائل الوراثية المدمجة داخل الدنا إلى المواضع التي يجري فيها تجميع البروتينات.

رياح شمسية: جسيمات منبعثة من الشمس، أغلبها بروتونات وإلكترونات، وهي تظهر باستمرار من الطبقة الخارجية للشمس، لكنها تفعل هذا في أعداد كبيرة في كل مرة ويطلق عليها الانفجارات الشمسية.

زمكان: صيغة الجمع الرياضية للزمان والمكان التي تتعامل مع الزمان بوصفه إحداثيًّا له كافة مميزات المكان وحقوقه. وقد تبين من خلال نظرية النسبية الخاصة أن الطبيعة توصف على أدق نحو باستخدام هذه الصيغة. وهي تتطلب ببساطة أن تُحدد جميع الأحداث من واقع إحداثيات الزمان والمكان، ولا تكترث القواعد الرياضية المستخدمة بالفارق بين الاثنين.

سحابة أورت: مليارات أو تريليونات المذنبات التي تدور حول الشمس، التي تكونت بينما كانت الشمس في بداياتها، وجميعها تتحرك في مدارات أكبر من مدار الأرض حول الشمس بآلاف أو حتى عشرات الآلاف من المرات.

سحابة غبار: هي سحب غازية في الفضاء النجمي تبرد بما يكفي لتكون ذرات تتحد معًا لتكون جزيئات، والعديد من هذه الجزيئات يتحد ليكون جزيئات غبار يتكون الواحد منها من ملايين الذرات.

سحابة ماجلان الصغرى: أصغر المجرتين التابعتين غير المنتظمتين اللتين تدوران حول مجرة درب التبانة.

سحابة ماجلان الكبرى: أكبر المجرتين التابعتين غير المنتظمتين اللتين تدوران حول مجرة درب التبانة.

سحابة نجمية: منطقة من الفضاء النجمي لها كثافة أعلى من المتوسط، ويمتد قطرها لعشرات من السنوات الضوئية، وتتراوح كثافات المادة فيها من عشر ذرات لكل سنتيمتر مكعب إلى ملايين الجزيئات لكل سنتيمتر مكعب.

سديم: كتلة مشتتة من الغازات والغبار، عادة ما تكون مضاءة من الداخل بواسطة نجوم ساطعة للغاية تكونت حديثًا من هذه المادة.

سرعة الهرب: تعني، لمقذوف أو مركبة فضائية، الحد الأدنى من السرعة التي يحتاجها الجسم المغادر لجسم آخر كي يترك نقطة الإطلاق دون أن يعود قط إلى الجسم الأصلي، بصرف النظر عن جاذبية هذا الأخير.

سطوع: إجمالي الطاقة المنبعثة كل ثانية من أحد الأجسام من جميع أنواع الإشعاع الكهرومغناطيسي.

سنة ضوئية: المسافة التي يقطعها الضوء أو أي شكل آخر من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي في سنة واحدة، وهي تعادل حوالي ١٠ تريليونات كيلومتر أو ٦ تريليونات ميل.

سيتي: مشروع البحث عن حضارات ذكية غير أرضية.

شحنة كهربية: سمة أصيلة في الجسيمات الأولية، وقد تكون موجبة أو متعادلة أو سالبة. الشحنات المتباينة ينجذب بعضها لبعض بينما تتنافر الشحنات المتشابهة بعضها مع بعض وذلك من خلال القوى الكهرومغناطيسية.

شفرة وراثية: مجموعة من «حروف» جزيئات الدنا أو الرنا، وكل منها يحدد نوعًا بعينه من الأحماض الأمينية، وتتكون من ثلاثة جزيئات متتابعة تشبه تلك التي تتكون منها الروابط الموجودة بين لولبي جزيئات الدنا.

شهاب: خط من الضوء اللامع يحدث نتيجة احتراق أحد النيازك أثناء عبوره للغلاف الجوي لكوكب الأرض.

ضوء (مرئي): إشعاع كهرومغناطيسي يتألف من فوتونات لها تردد وطول موجي يقع في نطاق يشار له بالضوء المرئي، وهو يقع بين الأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية.

ضوء مرئي: فوتونات لها تردد وطول موجي يتوافق مع التردد والطول الموجي الذي تدركه العين البشرية، وهو يقع بين نطاقي الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية مباشرة.

طاقة: القدرة على القيام بشغل، في الفيزياء يتحدد «الشغل» من واقع مقدار محدد من القوة التي تمارس تأثيرها عبر مسافة محددة.

طاقة حرارية: الطاقة المحتواة داخل الجسم (صلب أو سائل أو غازي) بفضل اهتزازات ذراته أو جزيئاته. متوسط الطاقة الحركية لهذه الاهتزازات هو التعريف الرسمي لدرجة الحرارة.

طاقة حركة: انظر طاقة حركية.

طاقة حركية: الطاقة التي يملكها الجسم بفضل حركته، وتقدر بنصف كتلة الجسم مضروبًا في مربع سرعته. وبهذا يكون للجسم الأكبر كتلة — كالشاحنة مثلًا — طاقة حركية أكبر من الجسم الأصغر كتلة — كالدراجة مثلًا — الذي يتحرك بنفس سرعته.

طاقة كتلة: الطاقة المكافئة لمقدار معين من الكتلة، وهي تعادل الكتلة مضروبة في مربع سرعة الضوء.

طاقة مظلمة: طاقة يستحيل رؤيتها أو كشفها بأي قياس مباشر، ويعتمد حجمها على حجم الثابت الكوني، وهي تجعل الفضاء يتمدد.

طفرة: تغير في الحمض النووي للكائن يمكن توارثه عبر سلالة هذا الكائن.

طول موجي: المسافة بين قمم الموجات المتعاقبة أو قيعانها، وللفوتونات هي المسافة التي يقطعها الفوتون مع كل ذبذبة.

طيف (جمع: أطياف): توزيع الفوتونات وفق ترددها أو طولها الموجي، ويظهر عادة على شكل رسومي يمثل عدد الفوتونات لكل تردد أو طول موجي بعينه.

عالِم كونيات: عالم فيزياء فلكية متخصص في دراسة بداية الكون وتركيبته على النطاق الواسع.

عامل محفز: مادة تزيد معدل التفاعل بين الذرات أو الجزيئات، دون أن تستهلك في هذه التفاعلات.

عتائق: أحد أشكال الحياة الثلاثة يعتقد أنه الأقدم على كوكب الأرض. وكل أفراد هذا النوع وحيد الخلايا وأليف الحرارة (أي قادر على العيش في درجة حرارة تفوق ٥٠ إلى ٧٠ درجة مئوية).

عدسة الجاذبية: جسم له قوة جاذبية كافية للتأثير على أشعة الضوء المارة به بحيث يتسبب في انحنائها، وعادة ما يسبب تركزها بحيث ينتج صورة أكثر سطوعًا مما قد يراه الراصد دون وجود عدسة الجاذبية هذه.

عضوي: صفة تشير لمركب كيميائي يحتوي على ذرات الكربون كعنصر بنيوي مهم، أو ما يطلق عليها الجزيئات المبنية على الكربون. أيضًا تعني هذه الصفة الارتباط بالحياة.

علم كونيات: دراسة الكون ككل، وبنيته وتطوره.

عملاق أحمر: نجم مر بمرحلة تطوره الأساسية وبدأ قلبه في الانكماش بينما بدأ سطحه الخارجي في التمدد. يؤدي الانكماش إلى زيادة معدل تفاعلات الاندماج النووي، وهو ما يزيد من سطوع النجم، ويبعث بالطاقة إلى الطبقات الخارجية، وهو ما يجعل النجم يكبر في الحجم.

عناصر: المكونات الأساسية للمادة، وتُصنَّف وفق عدد البروتونات في أنويتها. تتألف المادة العادية في الكون بأسره من اثني عشر عنصرًا تتراوح من أصغر ذرة، وهي ذرة الهيدروجين (وهذه الذرة تحمل بروتونًا وحيدًا في نواتها) إلى أكبر عنصر موجود بشكل طبيعي، اليورانيوم (الذي يحمل اثنين وتسعين بروتونًا في نواة ذرته). العناصر الأثقل من اليورانيوم أُنتجت في المختبرات.

عنقود مجرِّي: مجموعة كبيرة من المجرات، مصحوبة عادة بالغازات والغبار وقدر أعظم بكثير من المادة المظلمة، وهي تترابط معًا بفعل قوى الجذب المتبادلة للمواد المكونة لهذا العنقود المجرِّي.

عنقود نجمي: مجموعة من النجوم المولودة في المكان والوقت ذاته، القادرة على البقاء معًا لمليارات الأعوام بفضل قوى الجذب المتبادلة بينها.

غاز نجمي: الغاز الموجود بالمجرة وليس جزءًا من أي نجم فيها.

غبار نجمي: جزيئات غبار، يتكون الواحد منها من ملايين الذرات أو نحو ذلك، موجودة في الفضاء النجمي وآتية من الغلاف الجوي للنجوم العملاقة الحمراء المتقلقلة بشدة.

غلاف جوي بدائي: الغلاف الجوي الأصلي لكوكب الأرض.

فلكي: شخص يدرس الكون. استُخدم هذا المصطلح بشكل أكثر شيوعًا في الماضي، قبل التمكن من الحصول على خطوط الطيف للأجرام الفلكية.

فوتون: جسيم أولي عديم الكتلة والشحنة الكهربية، قادر على حمل الطاقة. تكوِّن تيارات الفوتونات الإشعاع الكهرومغناطيسي، وتسافر عبر الفضاء بسرعة الضوء البالغة ٢٩٩٧٩٢ كيلومترًا في الثانية.

فيروس: تجميعة من الأحماض النووية وجزيئات البروتينات قادرة على التكاثر فقط داخل خلية «مضيفة» لكائن آخر.

فيزيائي فلكي: شخص يدرس الكون معتمدًا في ذلك على مجموعة كاملة من قوانين الفيزياء المعروفة. وهذا هو المصطلح الذي يفضل استخدامه في العصر الحديث.

قانون هابل: يلخص تمدد الكون على النحو المنظور اليوم، وينص على أن سرعات ابتعاد المجرات البعيدة تساوي المسافة بينها وبين مجرة درب التبانة مضروبة في رقم ثابت (ثابت هابل).

قرص التراكم: المادة المحيطة بجسم ضخم، ويكون هذا الجسم ثقبًا أسود في المعتاد، وتتحرك المادة في مدار حوله بحركة دوامية بطيئة إلى الداخل.

قرص كواكب ناشئة: قرص الغازات والغبار الذي يحيط بالنجم أثناء تكونه، والذي قد تبدأ الكواكب الفردية في التكون منه وفي داخله.

قزم أبيض: قلب أحد النجوم اندمجت فيه أنوية الهيليوم لتكون الكربون، ومن ثم هو يتكون من أنوية كربون إلى جانب الإلكترونات، وهو منكمش لحجم صغير (يقارب حجم كوكب الأرض) وله كثافة مرتفعة (أعلى من كثافة الماء بمليون ضعف تقريبًا).

قزم بني: جرم يشبه النجم في تكوينه، لكن كتلته أقل مما يلزم كي يصير نجمًا لأنها تعجز عن بدء الاندماج النووي في قلبه.

قطع ناقص: منحنى مغلق محدد وفق الحقيقة التي تقول إن مجموع المسافات من أي نقطة على المنحنى إلى نقطتين داخليتين ثابتتين، تسميان بالبؤرتين، له القيمة نفسها.

قوة: بصفة عامة، هي القدرة على القيام بشغل أو إحداث تغيير ملموس؛ أي تأثير يميل لجعل الجسم يتسارع في الاتجاه الذي توجه القوة نحوه.

قوة كهروضعيفة: نتاج توحيد القوتين الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة، التي تبدو جوانبها مختلفة بشكل كبير بعضها عن بعض في الطاقات المنخفضة نسبيًّا لكنها تتوحد عند العمل في طاقات هائلة مثلما حدث خلال اللحظات الأولى لنشأة الكون.

قوة كهرومغناطيسية: إحدى القوى الأساسية الأربعة، وهي تعمل بين الجسيمات ذات الشحنة الكهربية، ويقل تأثيرها بالتناسب مع مربع المسافة بين الجسيمات. أظهرت الدراسات الحديثة أن هذه القوة والقوة النووية الضعيفة هما وجهان متباينان لقوة واحدة تسمى القوة الكهروضعيفة.

قوة نووية ضعيفة: إحدى القوى الأساسية الأربعة، وهي تعمل فقط بين الجسيمات الأولية في نطاق مسافات قدرها $١٠^{-١٣}$ سنتيمترًا أو أقل، وهي المسئولة عن تحلل جسيمات عناصر معينة إلى أنواع أخرى. أظهرت الدراسات الحديثة أن القوى الضعيفة والقوى الكهرومغناطيسية هما وجهان مختلفان لقوة كهروضعيفة واحدة.

قوة نووية قوية: إحدى القوى الأساسية الأربعة، وهي قوة جاذبة في المعتاد وتعمل بين محتويات النواة (البروتونات والنيوترونات) بحيث تربط بينها داخل نواة الذرة، لكن هذا لا يحدث إلا إذا اقتربت هذه الجسيمات بعضها من بعض لمسافة تعادل $١٠^{-١٣}$ سنتيمترًا.

قوى الجاذبية: إحدى القوى الأساسية الأربعة، وهي قوة جاذبة، تتناسب شدتها بين أي جسمين مع مجموع كتلتي الجسمين، مقسومًا على مربع المسافة بين مركزيهما.

كائن حي: كائن يتصف بسمة الحياة.

كائنات البيئات المتطرفة: كائنات تعيش في درجات حرارة عالية، بين ٧٠ إلى ١٠٠ درجة مئوية في المعتاد.

كائنات أليفة الحرارة: أي كائن قادر على العيش في درجات حرارة مرتفعة، تقارب درجة غليان الماء.

كائنات حقيقية النوى: كائن، إما وحيد الخلية أو عديدها، يحتفظ بمادته الجينية في كل واحدة من خلاياه داخل نواة محاطة بغشاء.

كتلة: مقياس لمحتوى الجسم من المادة، ولا ينبغي الخلط بينه وبين الوزن، الذي يقيس مقدار قوة الجاذبية المبذولة على الجسم. ومع ذلك، للأجسام على سطح كوكب الأرض، توجد علاقة مباشرة بين التغير في الكتلة والوزن.

كربون: عنصر يتكون من ذرات تحتوي أنويتها على ستة بروتونات، وتحتوي نظائره المختلفة على ستة أو سبعة أو ثمانية نيوترونات.

كربوهيدرات: جزيء مكون من ذرات الكربون والهيدروجين والأكسجين فقط، وفي المعتاد يكون عدد ذرات الهيدروجين ضعف عدد ذرات الأكسجين.

كرة: الشكل المصمت الوحيد الذي تبعد فيه كل نقطة على السطح نفس المسافة عن المركز.

كروموسوم: جزيء دنا واحد، إلى جانب البروتينات المرتبطة بهذا الجزيء، وهو يخزن المعلومات الوراثية في وحدات فرعية تسمى الجينات، ويمكنه نقل هذه المعلومات عند تضاعف الخلايا.

كسوف: إعاقة جزئية أو كلية من جرم سماوي لجرم آخر، كما يراها الراصد حين يبدو له أن أحد الجرمين يوجد خلف الآخر بشكل تام أو شبه تام.

كواكب داخلية: كواكب عطارد والزهرة والأرض والمريخ في المجموعة الشمسية، وجميعها تتسم بالصغر والكثافة والطبيعة الصخرية مقارنة بالكواكب الضخمة.

كوكب: جرم يدور حول أحد النجوم، شريطة ألا يكون هذا الجرم نجمًا بدوره وأن يكون على الأقل في حجم بلوتو، الذي يُصنَّف على أنه أصغر كواكب المجموعة الشمسية أو أكبر أجرام حزام كويبر لأنه أصغر من أن يكون كوكبًا.

كوكب عملاق: كوكب مشابه في الحجم والتركيب لكواكب المشتري وزحل وأورانوس ونبتون، ويتكون من لب صلب من الصخور والجليد محاط بطبقات كثيفة من غازي الهيدروجين والهيليوم في الأغلب، وله كتلة تتراوح من عشر مرات قدر كتلة كوكب الأرض إلى مئات أضعاف كتلة كوكب الأرض.

كوكب مصغر: جرم أصغر حجمًا بكثير من الكوكب، قادر على تكوين كواكب من خلال المرور بعدد كبير من عمليات الاصطدام المتبادل.

كوكب موجود خارج المجموعة الشمسية: كوكب يدور حول نجم آخر خلاف الشمس.

كوكب ناشئ: الكوكب وهو في المراحل الأخيرة لتكونه.

كوكبة: مجموعة من النجوم تُرى من الأرض في المكان عينه، وتسمى على اسم نبات أو حيوان أو أداة علمية أو كائن خرافي، نادرًا ما يصف بالفعل شكل تجميعة النجوم هذه، ويوجد حوالي ثمانٍ وثمانين كوكبة في السماء.

كون: عادة ما تعني هذه الكلمة كل ما له وجود، مع أنه في بعض النظريات الحديثة ما نطلق عليه الكون قد يكون مجرد جزء من «خلفية كونية» أو «كونًا متعددًا» أكبر بكثير.

كويكب: جسم مكون بالأساس من الصخور أو الصخور والمعادن، يدور حول الشمس بين مداري المريخ والمشتري غالبًا، ويتراوح في الحجم من قطر يبلغ ألف كيلومتر إلى قطر لا يزيد عن بضع مئات من الأمتار. الأجسام المشابهة للكويكبات لكنها أصغر حجمًا تسمى النيازك.

كيلوجرام: وحدة لقياس الكتلة بالنظام المتري، ويتكون من ١٠٠٠ جرام.

كيلومتر: وحدة لقياس الطول بالنظام المتري، وتساوي ١٠٠٠ متر أو ما يساوي بالتقريب ٠٫٦٢ ميل.

كيلوهرتز: وحدة لقياس التردد تشير إلى حدوث ١٠٠٠ ذبذبة في الثانية.

لف حول الذات: دوران الجسم حول محوره. على سبيل المثال تدور الأرض حول نفسها مرة كل ٢٣ ساعة و٥٦ دقيقة.

لمعان ظاهري: السطوع الذي يبدو أن الجسم يملكه بينما يقيسه الراصد، ومن ثم يعتمد على مقدار سطوع الجسم وبعده عن المراقب.

لولب مزدوج: البنية الأساسية لشكل جزيء الدنا.

مادة مضادة: الشكل المناظر للمادة العادية، وهي مكونة من جزيئات مضادة لها نفس كتلة الجزيئات العادية لكن لها شحنات كهربية معكوسة.

مادة مظلمة: مادة من نوع غير معروف لا تطلق إشعاعًا كهرومغناطيسيًّا، وقد استُنتج، من واقع قوى الجذب التي تمارسها على المادة المرئية، أنها تؤلف السواد الأعظم من مادة الكون.

متر: الوحدة الأساسية لقياس الأطوال في النظام المتري، وهو يساوي ٣٩٫٣٧ بوصة تقريبًا.

مجرات ذات أنوية نشطة: مصطلح فلكي يشير إلى المجرة التي يوجد بها نواة نشطة، وهي طريقة متواضعة لوصف المجرات التي تتألق مناطقها المركزية بآلاف أو

ملايين أو مليارات المرات قدر سطوع المنطقة المركزية في المجرة العادية. تشبه المجرات ذات الأنوية النشطة النجوم الزائفة بشكل عام، لكنها عادة ما تُرصد على مسافات أقرب من النجوم الزائفة، ومن ثم تكون في مراحل متأخرة من حياتها عن النجوم الزائفة نفسها.

مجرة: مجموعة كبيرة من النجوم، يتراوح عددها بين عدة ملايين وبضعة مليارات، مترابطة معًا بفعل قوى الجذب النجمية، وهي تحتوي أيضًا على كمية وفيرة من الغازات والغبار.

مجرة أندروميدا: أقرب مجرة حلزونية كبيرة لمجرتنا درب التبانة، وهي تبعد عنا بحوالي ٢٫٤ مليون سنة ضوئية.

مجرة بيضاوية: مجرة تتوزع فيها النجوم على شكل بيضاوي (قطع ناقص) ولا تحتوي تقريبًا على أي غازات أو غبار، وهي تبدو بيضاوية الشكل في الإسقاط ثنائي الأبعاد.

مجرة حلزونية: مجرة تتسم بوجود قرص مسطح من النجوم والغازات والغبار، وتتميز بوجود أذرع حلزونية داخل القرص.

مجرة حلزونية قضيبية: مجرة حلزونية تتوزع النجوم والغازات في مناطقها المركزية على صورة قضيب مستطيل الشكل.

مجرة غير منتظمة: مجرة ذات شكل غير منتظم؛ أي إنها ليست حلزونية (لولبية) أو بيضاوية.

مجموعة شمسية: الشمس والأجرام التي تدور حولها، بما في ذلك الكواكب وأقمارها والكويكبات والنيازك والمذنبات والغبار النجمي.

مجموعة محلية: اسم يطلق على عشرين أو نحو ذلك من المجرات القريبة من مجرة درب التبانة. تتضمن المجموعة المحلية سحابتي ماجلان الكبرى والصغرى، إلى جانب مجرة أندروميدا.

مد: بروز يحدث في جسم قابل للتشوه بفعل قوة الجذب الخاصة بجسم آخر، والسبب وراءه هو حقيقة أن الجسم القريب يمارس مقادير متباينة من القوى على الأجزاء المختلفة للجسم القابل للتشوه؛ نظرًا لأن هذه الأجزاء تبعد عنه بمسافات متفاوتة.

مذنَّب: شظية من مادة النظام الشمسي البدائية، يكون في المعتاد «كرة ثلج قذرة» مكونة من الجليد والصخور والغبار وثاني أكسيد الكربون المتجمد (الثلج الجاف).

مذيب: سائل قادر على إذابة مادة أخرى، أو سائل يمكن فيه للذرات والجزيئات أن تطفو وتتفاعل.

مركب: اسم مرادف للجزيء.

مركبة الفضاء جاليليو: مركبة فضائية أرسلتها ناسا إلى كوكب المشتري عام ١٩٩٠، ووصلت الكوكب في ديسمبر من عام ١٩٩٥، وأسقطت مسبارًا في الغلاف الجوي للكوكب، ثم قضت السنوات القليلة التالية في الدوران حول ذلك الكوكب العملاق، تلتقط الصور للكوكب وأقماره الكبيرة.

مركبة الفضاء فوياجر: اسم أطلق على مركبتي الفضاء اللتين أطلقتهما ناسا، باسم فوياجر ١ وفوياجر ٢، من الأرض عام ١٩٧٨ ومرتا بالقرب من المشتري وزحل بعد سنوات قلائل، ثم مضت فوياجر ٢ لتمر بأورانوس عام ١٩٨٦ ونبتون عام ١٩٨٩.

مركبة الفضاء كاسيني-هويجنز: مركبة فضاء أطلقت من الأرض عام ١٩٩٧ ووصلت إلى زحل عام ٢٠٠٤، بعدها مسحت المركبة المدارية كاسيني سطح زحل وأقماره، وأطلقت المسبار هويجنز للهبوط على سطح القمر تايتان، أكبر أقمار زحل.

مسبار ويلكنسون لقياس اختلاف الموجات الميكرونية: قمر صناعي أطلق عام ٢٠٠١ لدراسة إشعاع الخلفية الكوني بدرجة من التفصيل أعلى من تلك التي حققها سابقه مستكشف الخلفية الكونية.

مستعر أعظم (الجمع: مستعرات عظمى): نجم ينفجر في نهاية عمر الاندماج النووي له، ويكتسب مقدارًا هائلًا من السطوع لبضعة أسابيع يمكن أن يساوي مقدار سطوع مجرة بأسرها. تنتج هذه النجوم العناصر الأثقل من الهيدروجين والهيليوم وتوزعها في أرجاء الفضاء.

مستكشف الخلفية الكونية: القمر الصناعي الذي أطلق عام ١٩٨٩ لمراقبة إشعاع الخلفية الكونية، وهو أول ما سجل الاختلافات الدقيقة لهذا الإشعاع الآتية من اتجاهات مختلفة من السماء.

معادلة دريك: المعادلة التي وضعها عالم الفلك الأمريكي فرانك دريك، وتلخص تقديرنا لعدد الحضارات ذات قدرات التواصل النجمي التي توجد الآن أو في أي وقت معين.

مقياس حرارة سيليزي أو مئوي: مقياس الحرارة الذي طوره العالم السويدي أندرِس سيلزيوس (١٧٠١–١٧٤٤)، وقدمه عام ١٧٤٢، ووفق هذا المقياس يتجمد الماء عند درجة الصفر ويغلي عند درجة ١٠٠.

مقياس حرارة فهرنهايتي: مقياس للحرارة مسمى على اسم عالم الفيزياء ألماني المولد جابريل دانييل فهرنهايت (١٦٨٦–١٧٣٦)، وقد قدمه عام ١٧٢٤، وطبقًا لهذا المقياس يتجمد الماء عند درجة ٣٢ ويغلي عند درجة ٢١٢.

مقياس حرارة كلفيني (مطلق): مقياس للحرارة مسمى على اسم اللورد كلفن (ويليام طومسون، ١٨٢٤–١٩٠٧) وظهر في أواسط القرن التاسع عشر، وفيه تكون أبرد درجة ممكنة، بطبيعة الحال، هي الصفر المطلق. تدريج الحرارة على هذا المقياس (الذي يرمز له بالرمز K) يساوي نفس التدريج على المقياس السيليزي (المئوي)، بحيث يتجمد الماء عند درجة ٢٧٣,١٦ على مقياس كلفن ويغلي عند درجة ٣٧٣,١٦.

مقياس حرارة مطلق (كلفيني): درجة الحرارة المحددة على مقياس (يشار إليه بالدرجة الكلفينية) يتجمد الماء وفقه عند درجة ٢٧٣,١٦ كلفينية ويغلي عند درجة ٣٧٣,١٦ كلفينية، وتشير الدرجة صفر كلفينية إلى الصفر المطلق، وهي أبرد درجة يمكن الوصول إليها نظريًّا.

مقياس لوغاريتمي: طريقة لتسجيل البيانات يمكن بها وضع نطاقات هائلة من الأرقام في نفس الورقة. بالمصطلحات الرسمية، يتزايد المقياس اللوغاريتمي بصورة أُسِّيَّة (مثال: ١، ١٠، ١٠٠، ١٠٠٠، ١٠٠٠٠) وليس بصورة عددية (مثال، ١، ٢، ٣، ٤، ٥).

منطقة صالحة للسكنى: منطقة محيطة بالنجم تستطيع فيها حرارة النجم الحفاظ على أحد المواد القابلة للذوبان أو أكثر في حالة سائلة، ومن ثم يتكون غطاء كروي حول النجم له حد داخلي وآخر خارجي.

موجات تحت ملليمترية: إشعاع كهرومغناطيسي له تردد وطول موجي يقع بين موجات الراديو والأشعة تحت الحمراء.

موجات راديو: الفوتونات ذات الطول الموجي الأكبر والتردد الأقل.

ميجاهرتز: وحدة لقياس التردد تساوي مليون ذبذبة أو اهتزاز في الثانية الواحدة.

ميكانيكا الكم: وصف سلوك الجسيمات على أصغر المستويات حجمًا، وهو ما يعني من ثم وصف بنية الذرات وتفاعلاتها مع الذرات الأخرى ومع الفوتونات، إضافة إلى وصف سلوك أنوية الذرات.

نجم: كتلة من الغاز المتماسك بفعل جاذبيته الذاتية، تتم في قلبه تفاعلات اندماج نووي تتحول فيها طاقة الكتلة إلى طاقة حركية تعمل على تسخين النجم بأكمله، مسببة توهج سطحه.

نجم زائف-كويزر (مصدر شبه نجمي لموجات الراديو): جرم أشبه بالنجوم، لكن التحليل الطيفي له يظهر وجود إزاحة حمراء كبيرة، نتيجة بعده الكبير عن مجرة درب التبانة.

نجم ساقط: اسم شائع يطلق على الشهاب.

نجم نابض: جسم يبعث دفقات من الفوتونات على فترات منتظمة (تكون عادة فوتونات عالية الطاقة كذلك) نتيجة للدوران السريع لأحد النجوم النيوترونية حول نفسه، وهو ما ينتج إشعاعًا بسبب تسارع الفوتونات المشحونة في المجال المغناطيسي المرتبط بالنجم النيوتروني.

نجم ناشئ: نجم في مرحلة التكون، حيث ينكمش على نفسه من سحابة أكبر من الغاز والغبار بفعل جاذبيته الذاتية.

نجم نيوتروني: البقايا الضئيلة (أقل في القطر من عشرين ميلًا) لقلب نجم عملاق متفجر (مستعر أعظم)، ويتألف بالكامل تقريبًا من النيوترونات ويتمتع بكثافة مهولة حتى إنه يمكن ضغط مادة ألفي سفينة عابرة المحيطات في سنتيمتر مكعب واحد.

نسبية: المصطلح العام المستخدم لوصف نظريتي النسبية العامة والنسبية الخاصة لأينشتاين.

نصف قطر الثقب الأسود: لأي جسم له الكتلة (ك)، والمقاسة بوحدات تماثل كتلة الشمس، يساوي نصف قطر الثقب الأسود المسافة ٣ كيلومترات، وتعرف هذه المسافة أيضًا بأفق حدث الجسم.

نظرية النسبية الخاصة: ظهرت للمرة الأولى عام ١٩٠٥ على يد ألبرت أينشتاين، وهي تقدم فهمًا جديدًا للمكان والزمان والحركة. النظرية مبنية على مبدئين من «مبادئ النسبية» هما (١) أن سرعة الضوء ثابتة لكل شخص بصرف النظر عن الطريقة التي يختار قياسها بها، و(٢) أن قوانين الفيزياء واحدة في كل إطار مرجعي، سواء عند الثبات أو مع الحركة بسرعة ثابتة. جرى التوسع لاحقًا في النظرية كي تضم الأطر المرجعية المتسارعة الموجودة في نظرية النسبية العامة. وقد أُثبتت صحة مبدأي النسبية اللذين افترضهما أينشتاين في كل تجربة جرى إجراؤها منذ ذلك الوقت. توسع أينشتاين

في مبادئ النسبية للوصول بها إلى نتائجها المنطقية وتنبأ بعدد من المفاهيم غير المعتادة، منها:

- أنه لا يوجد ما يطلق عليه حدثان متزامنان مُطلقان. فالحدثان اللذان قد يبدوان متزامنين من وجهة نظر مراقب ما قد يكونان منفصلين من وجهة نظر آخر.
- كلما تحركت أسرع تحرك الزمن بشكل أبطأ لمن يرصد حركتك.
- كلما تحركت أسرع زادت كتلتك، ولهذا تصير محركات سفينتك الفضائية أقل كفاءة كلما زادت سرعتك.
- كلما تحركت أسرع صارت سفينتك الفضائية أقصر؛ لأن كل شيء يصير أقصر في اتجاه الحركة.
- في سرعة الضوء يتوقف الزمن، ويساوي طولك صفرًا، وتكون كتلتك لانهائية. وبسبب عبث هذه الحالة المقيدة، خلص أينشتاين إلى أنه من المحال الوصول لسرعة الضوء.

خلصت التجارب المصممة للتحقق من صحة نظريات أينشتاين إلى صحة هذه التنبؤات. من الأمثلة الدقيقة المؤكدة على صحة هذه التنبؤات الجسيمات التي لها «عمر نصف». فبعد مرور وقت يمكن التنبؤ به يُتوقع تحلل نصف مقدار تلك الجسيمات إلى جسيمات أخرى. وحين يجري تحريك هذه الجسيمات بسرعة تقارب سرعة الضوء (في معالجات الجزيئات)، تزداد فترة عمر النصف بنفس القدر الذي تتنبأ به نظريات أينشتاين. كما يصير من الأصعب تحريكها، وهو ما يشي بأن كتلتها الفعالة قد زادت.

نظرية النسبية العامة: تعد هذه النظرية — التي قدمها أينشتاين عام ١٩١٥، وتمثل الامتداد الطبيعي لنظرية النسبية الخاصة إلى نطاق الأجسام المتسارعة — بمنزلة نظرية حديثة للجاذبية تصف بنجاح العديد من النتائج التجريبية التي استحال تفسيرها في ضوء نظرية نيوتن للجاذبية. تستند النظرية على «مبدأ التكافؤ»، الذي وفقًا له يعجز الشخص على متن المركبة الفضائية، مثلًا، عن تحديد هل المركبة تتسارع متحركة في الفضاء أم تقف ساكنة في أحد حقول الجاذبية الذي من شأنه أن ينتج نفس التسارع. من هذا المبدأ العميق، بالرغم من بساطته، يظهر لنا فهم جديد بالكامل لطبيعة الجاذبية. وفق نظرية أينشتاين لا تعد الجاذبية «قوة» بالمعنى التقليدي للكلمة، بل هي تقوس للمكان بالقرب من كتلة ما. وتتحدد حركة أي جسم قريب بالكامل من واقع سرعته

ومقدار التقوس الحادث. بالرغم مما تبدو عليه نظرية النسبية العامة من منافاة للبديهة، فإنها تفسر جميع صور السلوك المعروفة لأنظمة الجاذبية التي دُرست إلى الآن، وهي تتنبأ بعدد كبير من الظواهر المنافية بشكل أكبر للبديهة التي يتواصل التحقق من صحتها من خلال التجارب ذات الشواهد. على سبيل المثال، تنبأ أينشتاين بوجود مجال جاذبية قوي يحني الفضاء ويثني أشعة الضوء المارة بالقرب منه بشكل ملحوظ. وقد ثبت لاحقًا أن ضوء النجوم المار قرب حافة الشمس (كما يُرى خلال الكسوف الشمسي التام) مُزاح عن موضعه المتوقع بمقدار مساوٍ بالضبط لتنبؤات أينشتاين. ربما يعد التطبيق الأكبر لنظرية النسبية العامة هو وصف كوننا المتمدد الذي فيه يكون الفضاء بأسره منحنيًا بفعل قوى الجذب الجمعية لمئات مليارات المجرات بداخله. أيضًا من التنبؤات المهمة المثبت صحتها اليوم وجود ما يسمى بـ «الجرافيتونات»، وهي جسيمات تحمل قوى الجاذبية وتُحدث تغيرات مباغتة في مجال الجاذبية مثل تلك المتوقع أن تنشأ بسبب انفجار مستعر أعظم.

نظير: أنوية عنصر معين، تحتوي كل منها على عدد البروتونات نفسه، لكنها تتباين في عدد النيوترونات.

نقطة تفرد مبدئية: اللحظة التي بدأ فيها الكون في التمدد، ويطلق عليها أيضًا الانفجار العظيم.

نموذج: بنية عقلية، عادة ما تُصنع بمساعدة الورق والقلم أو الحاسبات فائقة القدرة، تمثل نسخة مبسطة من الواقع وتسمح للعلماء بمحاولة عزل وفهم أهم العمليات التي تحدث في موقف بعينه.

نواة (جمع: أنوية): (١) المنطقة المركزية في الذرة، وتتكون من بروتون واحد أو أكثر إضافة إلى صفر أو أكثر من النيوترونات. (٢) منطقة داخل الخلية حقيقية النواة تحتوي على المادة الوراثية للخلية على صورة كروموسومات. (٣) المنطقة المركزية في المجرة.

نوع: مجموعة معينة من الكائنات، يملك أفرادها سمات تشريحية متشابهة وتستطيع التناسل.

نووية حرارية: أي عملية تتعلق بسلوك أنوية الذرات في ظل درجة حرارة مرتفعة.

نيتروجين: عنصر تتكون نواة ذرته من سبعة بروتونات، وله نظائر تحمل أنويتها ستة أو سبعة أو ثمانية أو تسعة أو عشرة نيوترونات. أغلب ذرات النيتروجين تحمل سبعة نيوترونات في أنويتها.

نيزك: جسم من الصخر أو المعدن أو مزيج منهما، أصغر حجمًا من الكويكب، يتحرك في مدار حول الشمس، وهو إما جزء من الحطام المتخلف عن عملية تكون المجموعة الشمسية أو ناتج عن ارتطام بين الأجسام الموجودة في المجموعة الشمسية.

نيوترون: جسيم أولي ذو شحنة كهربية متعادلة، وهو أحد المكونين الأساسيين لنواة الذرة.

نيوترينو: جسيم أولي ذو شحنة كهربية متعادلة كتلته أصغر من كتلة الإلكترون، ينتج أو يُمتص في التفاعلات بين الجسيمات الأولية الأخرى التي تحكمها القوة النووية الضعيفة.

نيوكليوتيدات: أحد الجزيئات الرابطة داخل جزيئات الدنا أو الرنا. في الدنا تتكون مجموعة النيوكليوتيدات من الأدنين والسيتوسين والجوانين والثايمين، أما في الرنا فيحل اليوراسيل محل الثايمين.

هالة: المناطق الخارجية من المجرة، التي تشغل حجمًا أكبر مما تشغله المجرة ذاتها، وبداخلها يوجد أغلب المادة المظلمة للمجرة.

هرتز: وحدة قياس التردد، ويساوي الهرتز الواحد ذبذبة واحدة في الثانية.

هيدروجين: أخف العناصر الكيميائية وأكثرها وفرة في الكون، تحوي نواة ذرته بروتونًا واحدًا، وقد تحوي نيوترونًا واحدًا أو اثنين أو لا تحوي نيوترونات على الإطلاق.

هيليوم: ثاني أخف العناصر الكيميائية من حيث الوزن والوفرة، وتحتوي نواة ذرته على بروتونين وواحد أو اثنين من النيوترونات. تولد النجوم الطاقة من خلال دمج أنوية الهيدروجين (البروتونات) إلى أنوية هيليوم.

وابل شهب: عدد كبير من الشهب يُلاحَظ ضوءها من نقطة معينة في السماء، وتحدث نتيجة عبور كوكب الأرض لمدار عدد كبير من النيازك في فترة وجيزة.

وقت الانفصال: حقبة في تاريخ الكون تمتعت فيها الفوتونات للمرة الأولى بطاقة منخفضة للغاية لدرجة منعتها من التفاعل مع الذرات، وبهذا تمكنت الذرات لأول مرة من التشكل والاستمرار دون أن تتمزق بفعل اصطدام الفوتونات بها.

يوروبا: أحد أقمار المشتري الكبرى، ويتميز بسطحه الجليدي الذي قد يغطي محيطًا يمتد عبر القمر بأكمله.

قراءات إضافية

Adams, Fred, and Greg Laughlin. *The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity*. New York: Free Press, 1999.

Barrow, John. *The Constants of Nature: From Alpha to Omega—The Numbers That Encode the Deepest Secrets of the Universe*. New York: Knopf, 2003.

______. *The Book of Nothing: Vacuums, Voids, and the Latest Ideas About the Origins of the Universe*. New York: Pantheon Books, 2001.

Barrow, John, and Frank Tipler. *The Anthropic Cosmological Principle.* Oxford: Oxford University Press, 1986.

Bryson, Bill. *A Short History of Nearly Everything.* New York: Broadway Books, 2003.

Danielson, Dennis Richard. *The Book of the Cosmos.* Cambridge, MA: Perseus, 2001.

Goldsmith, Donald. *Connecting with the Cosmos: Nine Ways to Experience the Majesty and Mystery of the Universe.* Naperville, IL: Sourcebooks, 2002.

______. *The Hunt for Life on Mars.* New York: Dutton, 1997.

______. *Nemesis: The Death-Star and Other Theories of Mass Extinction.* New York: Walker Books, 1985.

______. *Worlds Unnumbered: The Search for Extrasolar Planets.* Sausalito, CA: University Science Books, 1997.

______. *The Runaway Universe: The Race to Find the Future of the Cosmos.* Cambridge, MA: Perseus, 2000.

Gott, J. Richard. *Time Travel in Einstein's Universe: The Physical Possibilities of Travel Through Time.* Boston: Houghton Mifflin, 2001.

Greene, Brian. *The Elegant Universe.* New York: W. W. Norton & Co., 2000.

______. *The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality.* New York: Knopf, 2003.

Grinspoon, David. *Lonely Planets: The Natural Philosophy of Alien Life.* New York: HarperCollins, 2003.

Guth, Alan. *The Inflationary Universe.* Cambridge, MA: Perseus, 1997.

Haack, Susan. *Defending Science—Within Reason.* Amherst, NY: Prometheus, 2003.

Harrison, Edward. *Cosmology: The Science of the Universe,* 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

Kirshner, Robert. *The Extravagant Universe: Exploding Stars, Dark Energy, and the Accelerating Cosmos.* Princeton, NJ: Princeton University Press, 2002.

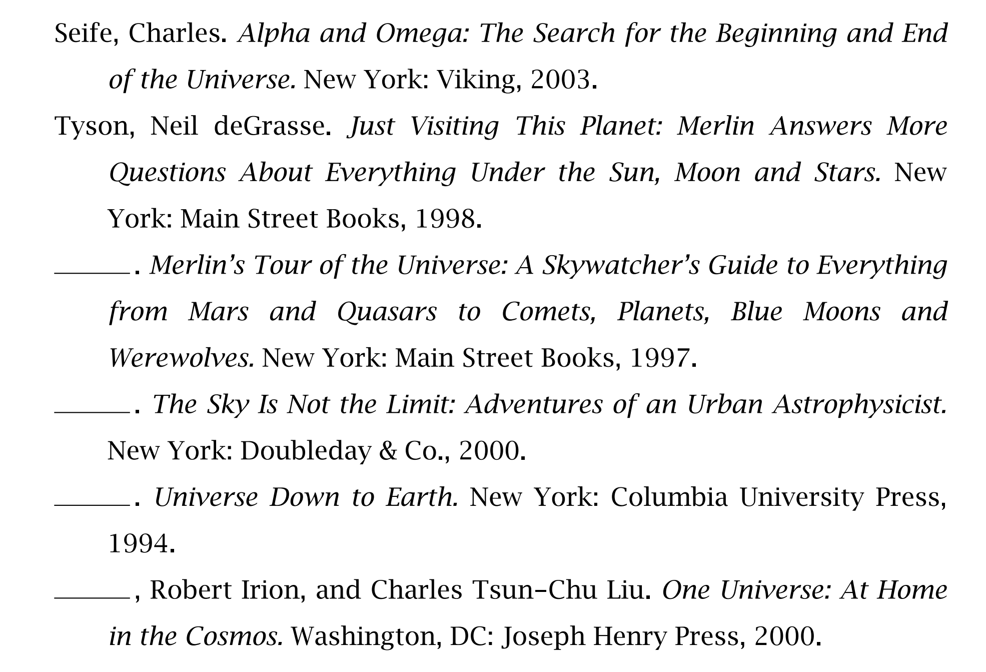
Knoll, Andrew. *Life on a Young Planet: The First Three Billion Years of Evolution on Earth.* Princeton, NJ: Princeton University Press, 2003.

Lemonick, Michael. *Echo of the Big Bang.* Princeton, NJ: Princeton University Press, 2003.

Rees, Martin. *Before the Beginning: Our Universe and Others.* Cambridge, MA: Perseus, 1997.

______. *Just Six Numbers: The Deep Forces That Shape the Universe.* New York: Basic Books, 1999.

______. *Our Cosmic Habitat.* New York: Orion, 2002.



Seife, Charles. *Alpha and Omega: The Search for the Beginning and End of the Universe.* New York: Viking, 2003.

Tyson, Neil deGrasse. *Just Visiting This Planet: Merlin Answers More Questions About Everything Under the Sun, Moon and Stars.* New York: Main Street Books, 1998.

______. *Merlin's Tour of the Universe: A Skywatcher's Guide to Everything from Mars and Quasars to Comets, Planets, Blue Moons and Werewolves.* New York: Main Street Books, 1997.

______. *The Sky Is Not the Limit: Adventures of an Urban Astrophysicist.* New York: Doubleday & Co., 2000.

______. *Universe Down to Earth.* New York: Columbia University Press, 1994.

______, Robert Irion, and Charles Tsun-Chu Liu. *One Universe: At Home in the Cosmos.* Washington, DC: Joseph Henry Press, 2000.

مصادر الصور

(١) الفريق العلمي للمسبار WMAP، ناسا.

(٢) إس بكويث ومجموعة عمل حقل هابل العميق الفائق، ناسا، إيسا.

(٣) أندرو فروشتر وآخرون، ناسا.

(٤) إن بنيتيز وتي برودهيرست وإتش فورد وإم كلامبين وجي هارتيج وجي إيلينجوورث، إيسا وناسا.

(٥) إيه سيميجينوفسكا وجيه بيشتولد وآخرون، ناسا.

(٦) أو لوبيز-كروز وآخرون، رابطة الأبحاث الفلكية الجامعية، المراصد الفلكية البصرية الوطنية، المؤسسة العلمية الوطنية.

(٧) جان-شارل جيلاندر، تلسكوب كندا-فرنسا-هاواي.

(٨) آرني هندن، المرصد البحري الأمريكي.

(٩) المرصد الجنوبي الأوروبي.

(١٠) فريق إرث هابل، إيه ريس، ناسا.

(١١) فريق هاي زي للبحث عن المستعرات العظمى، ناسا.

(١٢) دايان زايدرز وآدم بلوك، المراصد الفلكية البصرية الوطنية، رابطة الأبحاث الفلكية الجامعية، المؤسسة العلمية الوطنية.

(١٣) بي أندرز وآخرون، إيسا، ناسا.

(١٤) روبرت جندلر، www.robgendlerastropics.com.

(١٥) فريق إرث هابل، ناسا.

(١٦) رابطة الأبحاث الفلكية الجامعية، المراصد الفلكية البصرية الوطنية، المؤسسة العلمية الوطنية.
(١٧) إم هيداري-مالاييري (مرصد باريس) وآخرون، إيسا، ناسا.
(١٨) و(١٩) أطلس الصور المأخوذة كجزء من مشروع الميكرونين لمسح السماء كلها، وهو مشروع مشترك لكل من منظومة الجامعات الحكومية في ماساتشوستس ومركز تحليل ومعالجة الأشعة تحت الحمراء/معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، الذي أسسته كل من ناسا والمؤسسة العلمية الوطنية.
(٢٠) جان-شارل كويلاندر، تلسكوب كندا-فرنسا-هاواي.
(٢١) جان-شارل كويلاندر، تلسكوب كندا-فرنسا-هاواي.
(٢٢) جيه هستر (جامعة أريزونا الحكومية) وآخرون، ناسا.
(٢٣) إتش بوند وآر شياردولو، ناسا.
(٢٤) أندرو فروشتر (معهد علوم تلسكوبات الفضاء) وآخرون، ناسا.
(٢٥) جان-شارل كويلاندر، تلسكوب كندا-فرنسا-هاواي.
(٢٦) ريك سكوت، members.cox.net/rmscott.
(٢٧) آر جي فرنش، جيه كوتزي، إل دونز، جيه ليساور، فريق إرث هابل، ناسا.
(٢٨) (أ) فوياجر ٢، ناسا، (ب) أثينا كوستينيس وآخرون، تلسكوب كندا-فرنسا-هاواي.
(٢٩) فريق صور كاسيني، ناسا.
(٣٠) (أ) و(ب) مشروع جاليليو، ناسا.
(٣١) مشروع ماجلان، معهد الدفع النفاث، ناسا.
(٣٢) باز ألدرين، ناسا.
(٣٣) خوان كارلوس كاسادو، www.skylook.net.
(٣٤) جيه بيل، إم وولف وآخرون، ناسا.
(٣٥) المركبة الجوالة سبيريت، ناسا/معهد الدفع النفاث/كورنل.
(٣٦) المركبة الجوالة سبيريت، ناسا/معهد الدفع النفاث/كورنل.
(٣٧) ساندرا هولر، مؤسسة مشروعات يونيكورن.
(٣٨) دون ديفيز، ناسا.
(٣٩) نيل ديجراس تايسون، المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي.
(٤٠) ساندرا هولر، مؤسسة مشروعات يونيكورن.